

PROYEK AKHIR - RC 090342

# **PERENCANAAN STRUKTUR RUMAH SUSUN SEDERHANA SEWA SIDOTOPO SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

RAHMAT RIDHO DARMAWAN  
NRP. 3111 030 008

ACHMAD FAIQ ADHI ATMA  
NRP. 3111 030 040

Dosen Pembimbing  
Dr. M. MUNTAHA, ST ., MT  
NIP. 19740211 199802 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2014



**PROYEK AKHIR – RC 090342**

**PERENCANAAN STRUKTUR RUMAH  
SUSUN SEDERHANA SEWA SIDOTOPO  
SURABAYA DENGAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

**RAHMAT RIDHO DARMAWAN**  
NRP. 3111 030 008

**ACHMAD FAIQ ADHI ATMA**  
NRP. 3111 030 040

Dosen Pembimbing  
**Dr. M. MUNTAHA, ST ., MT**  
NIP. 19740211 199802 1 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2014**



FINAL PROJECT - RC 090342

# STRUCTURAL DESIGN OF SIMPLE FLAT RENT SIDOTOPO SURABAYA USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM

RAHMAT RIDHO DARMAWAN  
NRP. 3111 030 008

ACHMAD FAIQ ADHI ATMA  
NRP. 3111 030 040

Counsellor Lecture  
Dr. M. MUNTAHA, ST., MT  
NIP. 19740211 199802 1 001

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
CIVIL ENGINEERING AND PLANNING FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2014



**FINAL PROJECT – RC 090342**

**STRUCTURAL DESIGN OF SIMPLE FLAT  
RENT SIDOTOPO SURABAYA USING  
INTERMEDIATE MOMEN RESISTING  
FRAME SYSTEM**

**RAHMAT RIDHO DARMAWAN**  
NRP. 3111 030 008

**ACHMAD FAIQ ADHI ATMA**  
NRP. 3111 030 040

Consellor Lecture  
**Dr. M. MUNTAHA, ST ., MT**  
NIP. 19740211 199802 1 001

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
CIVIL ENGINEERING AND PLANNING FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2014**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik  
Pada

Program Studi Diploma III Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Mahasiswa 1



**RAHMAT RIDHO DARMAWAN**  
NRP. 3111 030 008

Mahasiswa 2



**ACHMAD FAIQ ADHI ATMA**  
NRP. 3111 030 040

Disetujui oleh pembimbing proyek akhir :



  
**DR. M. MUNTAHA, ST., MT.**  
NIP. 19740211 199802 1 001

SURABAYA, JULI 2014

# **PERHITUNGAN STRUKTUR RUMAH SUSUN SEDERHANA SEWA SIDOTOPO SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

**Dosen Pembimbing : Dr. M. Muntaha, ST, MT.**  
**19740211 199802 1 001**  
**Mahasiswa 1 : Rahmat Ridho Darmawan**  
**3111 030 008**  
**Mahasiswa 2 : Achmad Faiq Adhi Atma**  
**3111 030 040**  
**Jurusan : Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS**

## **ABSTRAK**

*Rumah Susun Sederhana Sewa Sidotopo Surabaya berada di Jalan Randu Surabaya. Berdasarkan hasil Standar Penetration Test (SPT), diketahui bahwa gedung dibangun di atas tanah dengan kondisi lunak. Dalam perhitungan beban gempa rencana menggunakan metode analisis statik ekuivalen.*

*Peraturan yang digunakan adalah standar desain yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 03-1726-2002, SNI 03-1728-2002, SNI 03-2847-2002, PPIUG 1983 dan PBBI 1971. Kota Surabaya termasuk dalam zona gempa 2. Akan tetapi dalam proyek akhir ini akan diperhitungkan sebagai zona gempa 4. Sehingga analisis strukturnya menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).*

*Struktur utama pada gedung (balok, sloof dan kolom) dan komponen sekunder (pelat dan tangga) menggunakan struktur beton bertulang. Pada atap menggunakan struktur rangka baja (rangka kaku) dengan model atap pelana. Struktur bawah (poer dan sloof) dari bahan beton bertulang. Untuk pondasi menggunakan tiang pancang. Hasil dari perhitungan ini adalah bangunan tersebut mampu menahan gaya gempa yang terjadi.*

***Kata kunci : Bangunan gedung, SRPMM, Statik Ekuivalen.***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **STRUCTURAL DESIGN OF SIMPLE FLAT RENT SIDOTOPO SURABAYA USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM**

**Counsellor Lecturer : Dr. M. Muntaha, ST, MT.**  
**19740211 199802 1 001**

**First Student : Rahmat Ridho Darmawan**  
**3111 030 008**

**Second Student : Achmad Faiq Adhi Atma**  
**3111 030 040**

**Faculty : Diploma III Civil Engineering FTSP-ITS**

## **ABSTRACT**

Simple Flats Rent Sidotopo is located at Randu street Surabaya. Based on the results of Standard Penetration Test (SPT), it's known that the building was built on land with soft conditions, in this calculation, seismic load plan is using equivalent static analysis methods.

The used regulations is applicable design standards in Indonesia, SNI 03-1726-2002, SNI 03-1728-2002, SNI 03-2847-2002, PPIUG, PPBI 1983 and 1971. Surabaya included in the second zone of earthquake. However in this final project will be calculated as the fourth zone of earthquake. Therefore the structure analysis is method bearers Moment Frame Intermediate System (SRPMM).

The main structure of the building (beams, columns and Sloof) and secondary components (plates and stairs) using reinforced concrete structures. The roof using steel frame structure (rigid frame) with a gable roof models. The bottom structure (poer and sloof) of reinforced concrete materials. For the foundation is using piles. The result of this calculation is that the building is able to withstand the force of the earthquake.

***Keywords: building buildings, SRPMM, Static Equivalent.***



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur kehadirat Tuhan YME atas segala rahmat dan karunia-Nya. Kami sebagai penulis telah menyelesaikan penyusunan Proyek Akhir ini dengan judul **“Perencanaan Struktur Rumah Susun Sederhana Sewa Sidotopo Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.”**

Tersusunnya Proyek Akhir ini tidak terlepas dari bantuan serta motivasi yang diberikan oleh berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam Proyek Akhir ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan terutama kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kelancaran dalam menyusun Proyek Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami yang tercinta, sebagai penyemangat dan banyak memberi dukungan moral maupun material serta doanya.
3. Bapak Dr. M. Muntaha, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang telah mendidik dan banyak memotivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
4. Bapak Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc, Ph.D, selaku Ketua Program Studi Diploma III FTSP ITS.
5. Segenap dosen dan karyawan pada Program Studi Diploma III FTSP ITS.
6. Teman-teman semua yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyusunan Proyek Akhir ini.

Kami menyadari dalam penyusunan Proyek Akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan, untuk itu segala bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan Proyek Akhir ini.

Dan akhirnya kami berharap semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membaca. Amin

Penyusun

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 tujuan .....	2
1.4 batasan masalah.....	3
1.5 manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pembebanan.....	5
2.1.1 Beban Mati .....	5
2.1.2 Beban Hidup.....	5
2.1.3 Beban Angin.....	5
2.1.4 Beban Gempa .....	6
2.1.4.1 Arah Pembebanan Gempa.....	6
2.1.4.2 Faktor Respon Gempa Statik .....	7
2.2 Perencanaan Struktur Atap.....	9
2.2.1 Gording .....	9
2.2.2 Penggantung Gording.....	12
2.2.3 Ikatan Angin.....	13
2.2.4 Kuda-kuda .....	13
2.2.4.1 Kolom Pendek Baja.....	16
2.2.4.2 Sambungan .....	17
2.2.4.2.1 Sambungan Baut .....	17
2.2.4.2.2 Sambungan Las .....	18

2.3 Perencanaan Struktur Primer.....	19
2.3.1 Balok .....	19
2.3.1.1 Perencanaan Dimensi Balok .....	19
2.3.1.2 Perhitungan Tulangan Lentur .....	21
2.3.1.3 Perhitungan Tulangan Geser.....	23
2.3.1.4 Perhitungan Tulangan Torsi (Puntir) .....	24
2.3.1.5 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan ..	26
2.3.2 Kolom.....	26
2.3.2.1 Perencanaan Dimensi Kolom.....	26
2.3.2.2 Kontrol Kelangsingan Kolom .....	227
2.3.2.3 Perhitungan Penulangan Lentur .....	28
2.3.2.4 Perhitungan Penulangan Lentur .....	28
2.3.2.5 Kontrol Kemampuan Kolom.....	29
2.3.2.6 Perhitungan Penulangan Geser .....	30
2.3.2.7 Perhitungan Jarak Spasi Tulangan Kolom ...	31
2.4 Perencanaan Struktur Sekunder .....	31
2.4.1 Pelat.....	31
2.4.1.1 Perencanaan Ketebalan Pelat .....	34
2.4.1.2 Perencanaan Penulangan Pelat.....	34
2.4.2 Tangga.....	37
2.4.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga.....	37
2.4.2.2 Pembebanan Tangga .....	37
2.4.2.3 Penulangan Struktur Tangga.....	37
2.5 Perencanaan Struktur Bawah .....	38
2.5.1 Pondasi.....	38
2.5.1.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah .....	38
2.5.1.2 Perencanaan Tiang Pancang .....	39
2.5.1.3 Perencanaan Pile Cap (Poer).....	39
2.5.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom.....	40
2.5.1.5 Kontrol Geser Pons Poer.....	40
2.5.1.5.1 Geser Satu Arah Pada Poer .....	40
2.5.1.5.2 Geser Dua Arah Pada Poer .....	42
2.6 Data Perencanaan .....	43
2.6.1 Data Bangunan .....	43
2.6.2 Data Tanah .....	43

2.6.3 Data Bahan .....	43
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>45</b>
3.1 Pengumpulan Data .....	45
3.2 Preliminari Desain .....	45
3.3 Perhitungan Pembebanan .....	45
3.4 Analisis Gaya Dalam.....	46
3.5 Perhitungan Penulangan Struktur .....	46
3.6 Kontrol Persyaratan .....	46
3.7 Gambar Rencana .....	47
3.8 Flowchart.....	48
3.8.1 Perencanaan Struktur Sekunder.....	49
3.8.2 Perencanaan Struktur Primer.....	56
3.8.3 Perencanaan Struktur Atap.....	65
3.8.4 Perencanaan Struktur Pondasi .....	68
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>71</b>
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur .....	71
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	72
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom .....	74
4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof .....	75
4.2 Perhitungan Pelat.....	76
4.2.1 Perencanaan Dimensi Pelat .....	76
4.2.2 Pembebanan Pelat .....	85
4.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat .....	86
4.3 Perhitungan Tangga.....	110
4.3.1 Perencanaan Dimensi Tangga .....	110
4.3.2 Pembebanan Tangga .....	112
4.3.3 Penulangan Pelat Tangga .....	113
4.4 Perhitungan Struktur Atap.....	122
4.4.1 Data-data Perencanaan .....	122
4.4.2 Perhitungan Gording .....	123
4.4.3 Perhitungan Penggantung Gording .....	139
4.4.4 Perhitungan Ikatan Angin.....	142
4.4.5 Kontrol Stabilitas Kuda-Kuda.....	153
4.4.6 Kontrol Stabilitas Kolom Pendek.....	161
4.4.7 Perhitungan Pelat Landas .....	164

4.4.8 Perhitungan Sambungan Atap.....	171
4.5 Perhitungan Gempa .....	192
4.5.1 Permodelan Struktur .....	192
4.5.2 Pembebanan .....	193
4.5.3 Perhitungan Beban Gempa.....	193
4.5.4 Kontrol Simpang Antar Tingkat.....	204
4.5.4.1 Kinerja Batas Layan.....	205
4.5.4.2 Kinerja Batas Ultimit .....	206
4.6 Perhitungan Balok .....	207
4.6.1 Perhitungan Penulangan Balok Induk .....	207
4.6.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir .....	222
4.6.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur .....	227
4.6.1.3 Perhitungan Penulangan Geser .....	255
4.6.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Balok .....	264
4.6.1.5 Kontrol Retak.....	268
4.6.2 Perhitungan Penulangan Balok Bordes .....	270
4.6.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir .....	286
4.6.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur .....	290
4.6.2.3 Perhitungan Penulangan Geser .....	316
4.6.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Balok .....	325
4.6.2.5 Kontrol Retak.....	330
4.7 Perhitungan Kolom .....	332
4.7.1 Penulangan Lentur Kolom .....	338
4.7.2 Penulangan Geser Kolom.....	360
4.7.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom .....	365
4.7.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom.....	366
4.8 Perhitungan Sloof.....	368
4.8.1 Perhitungan Penulangan Sloof .....	369
4.8.2 Perhitungan Penulangan Puntir .....	375
4.8.3 Perhitungan Penulangan Lentur Sloof.....	376
4.8.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan.....	380
4.9 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang dan Poer .....	388

4.9.1 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang dan Poer .....	392
4.9.1.1 Perencanaan Pondasi P1 .....	395
4.9.1.2 Perhitungan Daya Dukung Ijin ( $P_{ijin}$ ) .....	396
4.9.1.3 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tunggal .....	396
4.9.1.4 Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang .....	397
4.9.1.5 Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi .....	399
4.9.1.6 Perhitungan Geser Satu Arah Pada Poer .....	401
4.9.1.7 Perhitungan Geser Dua Arah Pada Poer .....	402
4.9.1.8 Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok .....	406
4.9.2 Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer) ....	413
<b>BAB V HASIL DAN PERHITUNGAN .....</b>	<b>419</b>
5.1 Kesimpulan.....	419
5.2 Saran.....	419



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan (I) Untuk Berbagai Kategori Gedung Bangunan.....	22
Tabel 2.2 Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem Dan Subsistem Struktur Gedung .....	23
Tabel 2.3 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir...	40
Tabel 2.4 Perencanaan Pelat Satu Arah (Lendutan Tidak Dihitung) .....	47
Tabel 2.5 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior .....	48
Tabel 2.6 Rasio Tulangan Susut Dan Suhu .....	50
Tabel 4.1 Batas Lendutan Maksimum.....	152
Tabel 4.2 Ukuran Minimum Las Sudut.....	188
Tabel 4.3 Faktor Keutamaan .....	210
Tabel 4.4 Hasil Total Kinerja Batas Layan Gedung.....	220
Tabel 4.5 Hasil Total Kinerja Batas Ultimit Gedung .....	221
Tabel 4.6 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir...	280
Tabel 4.7 Faktor Lokasi Dan Faktor Pelapis .....	280
Tabel 4.8 Faktor Beton Agregat Ringan.....	281
Tabel 4.9 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir...	341
Tabel 4.10 Faktor Lokasi Dan Faktor Pelapis .....	342
Tabel 4.11 Faktor Beton Agregat Ringan.....	342
Tabel 4.12 Faktor Lokasi Dan Faktor Pelapis .....	381
Tabel 4.13 Faktor Beton Agregat Ringan.....	382
Tabel 4.14 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir.	403
Tabel 4.15 Faktor Lokasi Dan Faktor Pelapis .....	404
Tabel 4.16 Faktor Beton Agregat Ringan.....	404
Tabel 4.17 Perhitungan Jarak X Dan Y.....	422
Tabel 4.18 Perhitungan Jarak X Dan Y .....	427

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Zona Gempa 4 Untuk 3 Kondisi Tanah....	24
Gambar 2.2 Gaya Lintang Rencana Balok Untuk SRPMM....	36
Gambar 2.3 Gaya Lintang Rencana Kolom Untuk SRPMM ..	44
Gambar 2.4 Bentang Pelat Lx dan Ly .....	46
Gambar 2.5 Bidang Kritis Akibat Geser 1 Arah.....	56
Gambar 2.6 Bidang Kritis Akibat Geser 2 Arah.....	57
Gambar 4.1 Diagram Perencanaan Dimensi Struktur.....	86
Gambar 4.2 Denah Posisi Pelat Yang Ditinjau.....	91
Gambar 4.3 Detail Pelat Lantai 2 (Elv +3,60).....	103
Gambar 4.4 Tebal Efektif Pelat Lantai.....	104
Gambar 4.5 Detail Pelat Lantai Atap.....	114
Gambar 4.6 Tebal Efektif Pelat Atap .....	115
Gambar 4.7 Denah Tangga Tipe 1.....	126
Gambar 4.8 Permodelan Tangga .....	128
Gambar 4.9 Penulangan Tangga.....	136
Gambar 4.10 Gording Profil LLC 100.50.20.3,2 .....	140
Gambar 4.11 Proyeksi Gaya Yang Bekerja Pada Gording.....	141
Gambar 4.12 Koefisien Angin.....	143
Gambar 4.13 Model Mekanika Gording.....	144
Gambar 4.14 Gaya Momen Beban Merata Arah X .....	145
Gambar 4.15 Gaya Momen Beban Terpusat Arah X .....	146
Gambar 4.16 Gaya Momen Beban Merata Arah Y .....	147
Gambar 4.17 Gaya Momen Beban Terpusat Arah Y .....	148
Gambar 4.18 Posisi Penggantung Gording.....	154
Gambar 4.19 Gaya Yang Bekerja Pada Gording.....	156
Gambar 4.20 Gaya-Gaya Pada Ikatan Angin .....	158
Gambar 4.21 Bidang Kerja Ikatan Angin.....	159
Gambar 4.22 Koefisien Angin.....	160
Gambar 4.23 Denah Kuda-Kuda .....	168
Gambar 4.24 Permodelan Kuda-Kuda.....	169
Gambar 4.25 Frame 403 .....	170
Gambar 4.26 Penempatan Baut Angker .....	181

Gambar 4.27 Diagram Tegangan Pada Pedestal .....	182
Gambar 4.28 Modulus Penampang Las.....	185
Gambar 4.29 Detail Penampang Pelat Landas dan Angker.....	186
Gambar 4.30 Letak Titik Sambungan Yang Ditinjau.....	187
Gambar 4.31 Sambungan Tipe 1 .....	187
Gambar 4.32 Detail Sambungan Las.....	188
Gambar 4.33 Detail Sambungan Baut.....	191
Gambar 4.34 Hasil Perhitungan Baut Geser Sentris Tunggal .	192
Gambar 4.35 Gaya Pada Sambungan Geser Lentur .....	193
Gambar 4.36 Distribusi Gaya Pada Sambungan Baut.....	193
Gambar 4.37 Susunan Baut Yang Digunakan .....	195
Gambar 4.38 Arah Robekan Pada Kondisi Fraktur 1 .....	195
Gambar 4.39 Arah Robekan Pada Kondisi Fraktur 2.....	196
Gambar 4.40 Sambungan Kuda-Kuda dan Kolom.....	197
Gambar 4.41 Detail Sambungan Las.....	198
Gambar 4.42 Detail Sambungan Las 1 Geser Lentur .....	199
Gambar 4.43 Rencana Sambungan Baut .....	201
Gambar 4.44 Hasil Perhitungan Baut Geser Sentris Tunggal .	202
Gambar 4.45 Gaya Pada Sambungan Geser Lentur .....	203
Gambar 4.46 Distribusi Gaya Pada Sambungan Baut.....	203
Gambar 4.47 Susunan Baut yang Digunakan.....	205
Gambar 4.48 Arah Robekan Pada Kondisi Fraktur 1 .....	205
Gambar 4.49 Arah Robekan Pada Kondisi Fraktur 2.....	206
Gambar 4.50 Permodelan Struktur .....	207
Gambar 4.51 Wilayah Gempa Zona 4.....	209
Gambar 4.52 Input Gempa Arah X .....	217
Gambar 4.53 Input Gempa Arah Y .....	218
Gambar 4.54 Tinggi Efektif Balok.....	223
Gambar 4.55 Denah Posisi Balok B1 (30/45) Pada As F(1-2)	225
Gambar 4.56 Posisi Balok B1 (30/45) As F(1-2) .....	225
Gambar 4.57 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok Pada SRPMM .....	236
Gambar 4.58 Luasan Acp dan Pcp .....	236
Gambar 4.59 Perencanaan Geser Untuk Balok SRPMM .....	270
Gambar 4.60 Hasil Penulangan Balok Induk B1 (30/45) .....	285

Gambar 4.61 Tinggi Efektif Balok .....	287
Gambar 4.62 Posisi BB (30/45) As D-E 4.....	288
Gambar 4.63 Gaya Lintang Rencana Balok SRPMM .....	299
Gambar 4.64 Luasan Acp dan Pcp .....	300
Gambar 4.65 Perencanaan Geser Untuk Balok SRPMM .....	332
Gambar 4.66 Hasil Penulangan Blok Bordes BB (30/45) .....	346
Gambar 4.67 Tinggi Efektif Kolom .....	354
Gambar 4.68 Denah Posisi Kolom K1 (45/45) Pada As H-4 ..	355
Gambar 4.69 Posisi K1 (45/45) As H-4 Pada Sumbu X-Z.....	355
Gambar 4.70 Posisi K1 (45/45) As H-4 Pada Sumbu Y-Z.....	355
Gambar 4.71 Lokasi dan Model Kolom yang Akan Dihitung.	357
Gambar 4.72 Faktor Panjang Efektif (K) .....	360
Gambar 4.73 Grafik Akibat Momen pada Program PCACOL	373
Gambar 4.74 Hasil Output pada Program PCACOL.....	374
Gambar 4.75 Lintang Rencana Untuk SRPMM .....	376
Gambar 4.76 Tinggi Efektif Sloof.....	385
Gambar 4.77 Denah Sloof .....	386
Gambar 4.78 Luasan Acp dan Pcp .....	389
Gambar 4.79 Pembagian Wilayah Geser pada Balok.....	396
Gambar 4.80 Penampang Poer Tipe P1 .....	413
Gambar 4.81 Bidang Kritis Pons Satu Arah.....	416
Gambar 4.82 Bidang Kritis Pons Dua Arah .....	417
Gambar 4.83 Penampang Poer Akibat Beban Sementara .....	422
Gambar 4.84 Penampang Poer Akibat Beban Sementara .....	426
Gambar 4.85 Hasil Penulangan Pondasi.....	433

## DAFTAR NOTASI

$A_{cp}$	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, $mm^2$
$A_{cv}$	= Luas efektif bidang geser dalam hubungan balok-kolom ( $mm^2$ )
$A_g$	= Luas bruto penampang ( $mm^2$ )
$A_n$	= Luas bersih penampang ( $mm^2$ )
$A_{tp}$	= Luas penampang tiang pancang ( $mm^2$ )
$A_l$	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi ( $mm^2$ )
$A_o$	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser ( $mm^2$ )
$A_{oh}$	= Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang ( $mm^2$ )
$A_s$	= Luas tulangan tarik non prategang ( $mm^2$ )
$A_s'$	= Luas tulangan tekan non prategang ( $mm^2$ )
$A_t$	= Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak $s$ untuk menahan torsi ( $mm^2$ )
$A_v$	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak $s$ atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak $s$ pada komponen struktur lentur tinggi ( $mm^2$ )
$b$	= Lebar daerah tekan komponen struktur ( $mm^2$ )
$b_o$	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm)
$b_w$	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
$C$	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
$C_c'$	= Gaya pada tulangan tekan
$C_s'$	= Gaya tekan pada beton
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
$d'$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)

$d_b$	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
$D$	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
$e$	= Eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom atau telapak pondasi
$e_x$	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah x
$e_y$	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah y
$E_x$	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X
$E_y$	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y
$E_c$	= Modulus elastisitas beton (MPa)
$I_b$	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
$I_p$	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
$f_c'$	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
$f_y$	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
$f_{vy}$	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
$f_{ys}$	= Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
$h$	= Tinggi total dari penampang
$h_n$	= Bentang bersih kolom
$l_n$	= Bentang bersih balok
$M_u$	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
$M_{nb}$	= Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
$M_{nc}$	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
$M_n$	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
$M_{nx}$	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x
$M_{ny}$	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y

- $M_{ox}$  = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol
- $M_{oy}$  = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol
- $M_1$  = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
- $M_2$  = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
- $M_{1ns}$  = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- $M_{2ns}$  = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- $M_{1s}$  = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- $M_{2s}$  = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).

$N_u$	= Beban aksial terfaktor
$P_{cp}$	= keliling luar penampang beton (mm)
$P_b$	= Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
$P_c$	= Beban kritis (N)
$P_{CP}$	= Keliling penampang beton (mm)
$Ph$	= Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
$P_n$	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
$P_o$	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol
$P_u$	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
$S$	= Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
$T_c$	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton
$T_n$	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
$T_s$	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh Tulangan tarik
$T_u$	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm)
$V_c$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
$V_s$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
$V_u$	= Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
$x$	= Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang
$\alpha$	= Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok
$\alpha_m$	= Nilai rata-rata $\alpha$ untuk semua balok tepi dari suatu panel
$\beta$	= Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
$\beta_d$	= Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum



$\rho$	= Rasio tulangan tarik
$\rho'$	= Rasio tulangan tekan
$\rho_b$	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
$\rho_{\max}$	= Rasio tulangan tarik maksimum
$\rho_{\min}$	= Rasio tulangan tarik minimum
$\phi$	= Faktor reduksi kekuatan
$\varepsilon$	= Regangan
$\varepsilon_c$	= Regangan dalam beton
$\lambda_d$	= Panjang penyaluran
$\lambda_{db}$	= Panjang penyaluran dasar
$\lambda_{dh}$	= Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan).
$\lambda_{hb}$	= Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik
$\lambda_n$	= Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
$\lambda_u$	= Panjang bebas (tekuk) pada kolom
$\delta_{ns}$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
$\delta_s$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi

## **DAFTAR LAMPIRAN**

1. Data Tanah
2. Data Spesifikasi Spun Pile
3. Perhitungan Balok
4. Perhitungan Kolom
5. Perhitungan Pondasi Tipe 2

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Rumah merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia, yang berfungsi dalam mendukung terselenggaranya pendidikan, keluarga, persemaian budaya, peningkatan kualitas generasi yang akan datang dan berjati diri. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh negara-negara yang sedang berkembang adalah permasalahan permukiman penduduk khususnya di kota-kota besar. Kendala yang dihadapi adalah terbatasnya lahan perkotaan. Salah satu alternatif untuk memecahkan kebutuhan rumah di perkotaan yang terbatas adalah dengan mengembangkan model hunian secara vertikal berupa bangunan rumah susun. Untuk memenuhi kebutuhan pokok akan rumah tinggal yang sangat meningkat, khususnya pada daerah-daerah perkotaan dan daerah-daerah industri, pembangunan Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) menjadi alternatif dalam memenuhi kebutuhan tempat tinggal.

Wilayah gempa di Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa, dimana wilayah 1 adalah wilayah dengan daerah gempa yang paling rendah dan wilayah 6 adalah daerah gempa paling tinggi. Jika daerah tersebut berada di zona gempa 1-2 maka sistem yang dapat dipakai adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), jika berada di zona gempa 3-4 maka dapat menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan jika berada di zona gempa 5-6 dapat menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Daerah Surabaya termasuk wilayah gempa 2, maka dalam perencanaan struktur ini menggunakan Sistem Rangka

Pemikul Momen Biasa (SRPMB), namun dalam tugas akhir ini, gedung rumah susun sederhana sewa (Rusunawa) Sidotopo Surabaya akan direncanakan ulang di daerah zona gempa 4, sehingga sistem yang harus dipakai dalam perencanaan ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Dalam proyek akhir perencanaan ulang gedung rumah susun sederhana sewa (Rusunawa) Sidotopo Surabaya, hasil akhir yang akan dihasilkan berupa dimensi elemen struktur, gaya-gaya dalam pada masing – masing elemen struktur (balok, kolom, pelat dan tangga), penulangan elemen struktur serta gambar hasil desain.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari penyusunan proyek akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara menentukan dimensi elemen struktur gedung dan apa saja beban - beban yang bekerja pada struktur gedung.
2. Bagaimana cara menganalisa gaya – gaya dalam struktur gedung.
3. Bagaimana cara merencanakan penulangan struktur gedung dengan menggunakan metode SRPMM dan menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar teknik.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penyusunan proyek akhir ini adalah:

1. Menentukan dimensi elemen struktur beton gedung dan beban-beban yang bekerja.
2. Menganalisa gaya-gaya dalam struktur gedung yang digunakan untuk menghitung kekuatan struktur bangunan dalam merespons beban gempa yang dialami.
3. Merencanakan penulangan elemen struktur gedung dengan menggunakan metode SRPMM dan menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam proyek akhir ini adalah:

1. Perencanaan ini tidak meninjau analisis biaya, manajemen konstruksi, maupun arsitektural.
2. Beban gempa dihitung dengan menggunakan analisa beban gempa statik ekuivalen (*SNI 03-1726-2002*).

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penyusunan proyek akhir ini adalah dapat merencanakan struktur gedung dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka berikut ini akan menjelaskan secara garis besar mengenai teori yang digunakan agar perencanaan struktur gedung dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yg dibutuhkan sebuah gedung.

Berikut merupakan kutipan dari peraturan-peraturan yang tercantum dalam SNI 03-2847-2002, SNI 03-1726-2002, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983) yang menjadi dasar pengerjaan proyek akhir ini.

#### **2.1 Pembebanan**

##### **2.1.1 Beban Mati**

Menurut PPIUG 1983, Pasal 1.0.1 beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

##### **2.1.2 Beban Hidup**

Menurut PPIUG 1983, Pasal 1.0.2 beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalammya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

##### **2.1.3 Beban Angin**

Menurut PPIUG 1983, Pasal 1.0.3 beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian

gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

#### **2.1.4 Beban Gempa**

Menurut PPIUG 1983, Pasal 1.0.1 beban gempa adalah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

##### **2.1.4.1 Arah Pembebanan Gempa**

Menurut SNI 03-1726-2002, pasal 5.8, Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem struktur gedung secara keseluruhan.

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang di atas harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi efektifitasnya hanya 30%.



### 2.1.4.2 Faktor Respon Gempa Statik

*Tabel 2.1 Faktor keutamaan (I) untuk berbagai kategori gedung bangunan*

Kategori gedung	Faktor keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan, perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5
Catatan: Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya standart ini maka faktor keutamaannya (I) dapat dikalikan 80%.			

*(sumber: SNI 03-1226-2002, table 1)*

Dimana :

$$I_3 = I_1 \cdot I_2$$

I<sub>1</sub> = faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung.

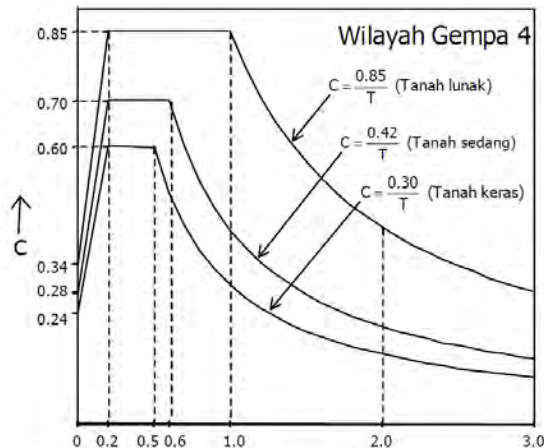
I<sub>2</sub> = faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

***Tabel 2.2 Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa maksimum, faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung***

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian system pemikul beban gempa	$\mu_m$	$R_m$	f
Sistem rangka pemikul momen (sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. SRPMK			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. SRPMM	3,3	5,5	2,8
	3. SRPMB			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

(sumber : SNI 03-1726-2002, table 3)

Faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya tergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.



Gambar 2.1 Grafik zona gempa 4 untuk 3 kondisi tanah

## 2.2 Perencanaan Struktur Atap

Struktur atap menggunakan konstruksi baja dimana perhitungannya meliputi perhitungan gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kuda dan kolom pendek baja.

### 2.2.1 Gording

Direncanakan gording menggunakan profil *Light Lip Channels* (LLC).

#### Penguraian Beban Pada Gording

Untuk pembebanan gording diasumsikan sebagai struktur balok menerus dengan tumpuan pada tiap-tiap *rafter* (kuda-kuda), akibat adanya sudut kemiringan ( $\alpha$ ) pada atap maka beban yang bekerja searah gravitasi bumi harus diuraikan terhadap sumbu X (sumbu sejajar dengan kemiringan atap) dan sumbu Y (sumbu tegak lurus dengan kemiringan atap). Yang termasuk pembebanan pada atap adalah :

#### a) Beban Mati

Beban mati yang dibebankan pada gording meliputi :

- Berat sendiri profil gedung
- Berat penutup atap
- Berat baut dan alat sambung = 10% (berat gording + penutup atap)

b) Beban Hidup

Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.2.1 beban hidup diambil yang terbesar di antara beban pekerja dan beban hujan. Beban hidup berupa orang dapat diambil beban terpusat  $P = 100 \text{ kg}$  atau beban air hujan menurut PPIUG 1983 pasal 3.2.2, beban terbagi rata per  $\text{m}^2$  bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar  $(40-0,8\alpha) \text{ kg/m}^2$  dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari  $20 \text{ kg/m}^2$  dan tidak perlu ditinjau bila  $\alpha > 50^\circ$ .

c) Beban Angin

Beban angin yang bekerja pada struktur ini berupa angin hisap dan angin tekan (PPIUG 1983 pasal 4.2.1).

- Tekanan angin =  $25 \text{ kg/m}^2$
- Koef. angin tekan ( $c_1$ ) =  $0,02\alpha - 0,4$
- Koef. angin hisap ( $c_2$ ) =  $-0,4$

Kombinasi Momen

- Beban tetap = beban mati + beban hidup
- Beban sementara = beban tetap + beban angin

Cek Kelangsingan Penampang

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 :

$$\lambda_f = \frac{b}{2tf} \quad \text{untuk sayap} \quad (2.1)$$

$$\lambda_w = \frac{h}{tw} \quad \text{untuk badan} \quad (2.2)$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1, syarat penampang kompak tidak boleh melebihi :

$$\lambda p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad \text{untuk sayap} \quad (2.3)$$

$$\lambda p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad \text{untuk badan} \quad (2.4)$$

Cek Persyaratan :

$$\lambda f < \lambda p$$

$$\lambda w < \lambda p$$

### Cek Kekuatan Penampang

Tahanan nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3 adalah :

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \quad (2.5)$$

Dimana :

$M_n = M_p$  = tahanan momen plastis

$Z$  = modulus plastis

$F_y$  = kuat leleh

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 8.1 tahanan balok lentur harus memenuhi persyaratan :

$$\phi_b \cdot M_n > M_u \quad (2.6)$$

### Kontrol Lendutan

Batas lendutan maksimum menurut SNI 03-1729-2002 pasal 6.4.3 tabel 6.4-1 adalah sebagai berikut :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360}$$

(2.7)

- Arah X

$$\Delta_x = \left[ \frac{5}{384} \times \frac{q_x \times L_x^4}{E \times I_y} \right] + \left[ \frac{1}{48} \times \frac{P_x \times L_x^3}{E \times I_y} \right]$$

$$\text{- Arah Y} \quad (2.8)$$

$$\Delta_x = \left[ \frac{5}{384} \times \frac{q_y \times L_y^4}{E \times I_x} \right] + \left[ \frac{1}{48} \times \frac{P_y \times L_y^3}{E \times I_x} \right] \quad (2.9)$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} \leq f_{ijin} \quad (2.10)$$

### 2.2.2 Penggantung Gording

Perencanaan dimensi penggantung gording adalah sebagai berikut :

- Berat yang dipikul tiap gording (w)

$$w = q + P \quad (2.11)$$

- Keseimbangan gaya vertikal (N)

$$N = n.w \quad (2.12)$$

- Gaya yang disalurkan ke kuda-kuda (T)

$$T = N / \sin \theta \quad (2.13)$$

- Luas penggantung gording (A)

$$A = T / \sigma_{dasar} \quad (2.14)$$

- Diameter penggantung gording (d)

$$d = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4}\pi}} \quad (2.15)$$

- Kontrol diameter penggantung gording

$$d_{pakai} \geq d_{\min} \quad (2.16)$$

$$d_{pakai} \geq L / 500 \quad (2.17)$$

- Kontrol Tegangan

$$\sigma^o = T / A \leq \sigma_{ijin} \quad (2.18)$$

### 2.2.3 Ikatan Angin

Perhitungan gaya-gaya yang bekerja :

$$Q = \text{tekanan angin} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$C = \text{koefisien angin} = 0,9 \text{ (PPIUG 1983 tabel 4.1)}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (2.19)$$

$$P = q.C \quad (2.20)$$

$$\sigma^o = P/A \leq \sigma_{ijin} \quad (2.21)$$

### 2.2.4 Kuda-kuda

Gaya dalam pada kuda-kuda didapat dari hasil analisa SAP 2000. Perhitungan kemampuan kuda-kuda meliputi :

- Kontrol kelangsingan

- Flens (sayap)

$$\lambda_f = \frac{b}{2.t_f} < \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (2.22)$$

- Web (badan)

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} < \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (2.23)$$

dimana :

b = lebar profil yang digunakan

h = tinggi bersih profil

$t_f$  = tebal sayap profil

$t_w$  = tebal badan profil

$$\lambda = \frac{Lk}{i_x} \quad (2.24)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.4)

dimana :

K = SNI 03-1729-2002 gambar 7.6-1

Parameter kelangsingan komponen struktur

$$\Delta = \frac{5L^2}{48.EI} X[Ms - 0,1(Ma + Mb)] \quad (2.25)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.1)

Sehingga didapatkan koefisien faktor tekuk

$$\omega = 1 \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 0,25$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad \text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2 \quad \text{untuk } \lambda_c \geq 0,25$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.2)

- Kontrol kuat tekan

$$P_n = \frac{Ag \cdot fy}{\omega} \quad (2.26)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 9.3.4)

$$P_u < \phi P_n \quad (2.27)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 9.3.4.(5))

$$\left[ \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2 \right] \text{ maka } \left[ \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mux}{\phi Mnx} + \frac{Muy}{\phi Mny} \right) \leq 1,0 \right]$$

$$\left[ \frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2 \right] \text{ maka } \left[ \frac{P_u}{2\phi P_n} + \left( \frac{Mux}{\phi Mnx} + \frac{Muy}{\phi Mny} \right) \leq 1,0 \right]$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 7.4.3.3)

- Kontrol pengaruh tekuk lateral

Lb = bentang terkekang kuda-kuda



$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (2.28)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3-2)

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.29)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3-2)

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (2.30)$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3-2)

dimana :

G = modulus geser baja (MPa)

$$J = \frac{1}{3} b \cdot t_w^3 + \frac{1}{3} b_f \cdot t_f^3$$

$$X = X_2 = 4x \left[ \frac{S}{G \cdot J} \right]^2 x \frac{I_w}{I_y}$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3-2)

Bentang pendek :

$$L \leq L_p \quad \text{maka, } M_n = M_p$$

Bentang menengah :

$$L_p < L_b < L_r \quad \text{maka,}$$

$$M_n = C_b \left[ M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)^2}{(L_r - L_p)} \right]^2 \leq M_p$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3.4)

bentang panjang :

$$L_r \leq L \quad \text{maka, } M_n \leq M_p$$

(sumber : SNI 03-1729-2002, Pasal 8.3.4)

- Kontrol geser

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

- Kontrol lendutan

$$\Delta = \frac{5L^2}{48EI} \times [M_s - 0,1(Ma + Mb)] \quad (2.31)$$

#### 2.2.4.1 Kolom Pendek Baja

Gaya dalam pada kolom didapat dari hasil analisa SAP 2000. Perhitungan kemampuan kuda-kuda meliputi :

Kontrol Kelangsingan

Flens (sayap) :

$$\frac{b/2}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (2.32)$$

Web (badan) :

$$\frac{h}{tw} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (2.33)$$

$$\lambda = \frac{Lk}{i_x} \quad (2.34)$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.35)$$

Dimana :

b = lebar profil

h = tinggi bersih profil

t<sub>f</sub> = tebal sayap profil

$t_b$  = tinggi sayap profil

$k$  = SNI 3-1729-2002 gambar 7.6-1

Sehingga didapatkan koefisien faktor tekuk

$$\omega = 1 \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 0,25$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad \text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2 \quad \text{untuk } \lambda_c \geq 1,2$$

#### Kontrol Kuat Tekan

$$P_n = \frac{A_g \cdot f_y}{\omega} \quad (2.36)$$

$$P_u < \phi P_n \quad (2.37)$$

$$\left[ \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2 \right] \text{ maka } \left[ \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0 \right]$$

$$\left[ \frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2 \right] \text{ maka } \left[ \frac{P_u}{2 \cdot \phi P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0 \right]$$

### **2.2.4 .2 Sambungan**

Sambungan pada kuda-kuda terdiri dari sambungan baut dan sambungan las.

#### **2.2.4.2.1 Sambungan Baut**

Sambungan baut mengacu pada SNI 03-1729-2002

##### Geser Sentris Tunggal

Tahanan geser 1 baut :

$$\phi Rn = 0,75 \cdot m \cdot r \cdot f_u \cdot a \quad (2.38)$$

Tahanan tumpu 1 baut :

$$\phi Rn = 0,75 \cdot 2 \cdot 4 \cdot d \cdot t \cdot f_u \quad (2.39)$$

$$\phi Rn > P_u$$

Geser Lentur

Tahanan tarik baut :

$$Tn = 0,75 \cdot 0,75 \cdot f_u \cdot 2a \quad (2.40)$$

Gaya tarik pada baut teratas :

$$Tu = Mu \cdot dn / \sum dn^2 \quad (2.41)$$

$$Tu < Tn$$

Tinjauan Plat

U = faktor reduksi = 0,87

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2 t}{4u}$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$\phi T_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$\phi T_n > P$$

**2.2.4.2.2 Sambungan Las**

Tebal las minimum yang digunakan mengacu pada SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1 dan pasal 13.5.3.3.

## - Geser Sentris

Berdasarkan bahan las :

$$\phi Rn = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot F_{uw}) \cdot L_{tot} \quad (2.42)$$

Berdasarkan bahan dasar :

$$\phi Rn = 0,75 \cdot t \cdot (0,6 \cdot F_u) \cdot L_{tot} \quad (2.43)$$

$$\phi Rn > Pu$$

## - Geser Lentur

Berdasarkan bahan las :

$$\phi Rn = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot F_{uw}) \quad (2.44)$$

Berdasarkan bahan dasar :

$$\phi R_n = 0,75 \cdot t \cdot (0,6 \cdot F_u) \quad (2.45)$$

$$\phi R_n \cdot S > M_u$$

## 2.3 Perencanaan Struktur Primer

### 2.3.1 Balok

#### 2.3.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan acuan SNI 03-2847-2002, Tabel 8, sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai 2/3 dari tinggi balok yang telah didapat.

#### 2.3.1.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program bantuan SAP 2000.

Cek jenis tulangan, merupakan tulangan rangkap atau tulangan tunggal.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.46)$$

$$\min = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.47)$$

$$b = \frac{0,85 \times 1 \times f_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.48)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 10.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \quad (2.49)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 12.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \quad (2.50)$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d \quad (2.51)$$

$x_{\text{coba-coba}}$  dimana  $x < 0,75 \cdot b$

$$d = b_w - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}} \quad (2.52)$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.utama}} \quad (2.53)$$

$$Cc = T_1 = 0,85 \cdot 1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \quad (2.54)$$

$$Asc = \frac{T_1}{f_y} \quad (2.55)$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} \quad (2.56)$$

$$M_{ns} = \frac{M_u}{\phi} - M_{nc} \quad (2.57)$$

Dimana:

$M_n$  = momen nominal penampang

$M_u$  = momen ultimit penampang

$\Phi$  = faktor reduksi

$b$  = rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

$C_c$  = selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur

$A_{sc}$  = luas tulangan tarik non-prategang

$M_{ns}$  = momen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti pada struktur

$M_{nc}$  = momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan

- Jika  $(M_n - M_{nc}) > 0$ , maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''} \quad (2.58)$$

$$f_s' = \left( \frac{x - d''}{x} \right) \times 600 \quad (2.59)$$

Jika  $f_s' > f_y$ , maka tulangan tekan leleh

Jika  $f_s' = f_y$ , maka

Jika  $f_s' < f_y$ , maka tulangan tekan tidak leleh

$$A_s' = \frac{C_s}{f_s' - 0,85 f_c'} \quad (2.60)$$

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y} \quad (2.61)$$

Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss} \quad (2.62)$$

$$A_s = A_s' \quad (2.63)$$

### Kontrol jarak spasi tulangan

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{tul.sengakang}}) - (n \times \phi_{\text{tul.utama}})}{n - 1} \quad (2.64)$$

### Kontrol kekuatan

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi} \quad (2.65)$$

- Jika  $(M_n - M_{nc}) < 0$ , maka perlu tulangan tunggal, untuk menentukan kebutuhan tulangan tunggalnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini:

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \quad (2.66)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (2.67)$$

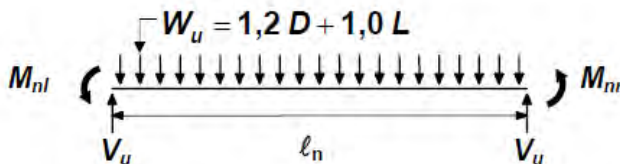
Jika  $\rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{min}}$ , maka  $\rho_{\text{perlu}}$  dinaikkan 30%, sehingga

$$\begin{aligned} \text{pakai} &= 1,3 \times \rho_{\text{perlu}} \\ A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \end{aligned}$$

### 2.3.1.3 Perhitungan Tulangan Geser

- Penentuan  $V_u$ ,  $V_c$ ,  $V_s$ , dan  $V_n$

Menurut *SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.3(2)*, gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa (E), dimana E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 2.2 Gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM

$$V_u = \frac{Mn_{kiri} + Mn_{kanan}}{Ln} + \frac{W_u}{2} \quad (2.68)$$

Dimana:

$V_u$  = gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai

$Mn_{kiri}$  = momen nominal penampang kiri

$Mn_{kanan}$  = momen nominal penampang kanan

$W_u$  = beban terfaktor per unit luas

$Ln$  = bentang balok

Nilai  $f_c'$  yang digunakan di dalam pasal ini tidak boleh melebihi 25/3 Mpa, kecuali seperti yang diizinkan di dalam 13.1(2(1))

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.2)

Kuat geser beton yang dibebani oleh geser dan lentur  $\Phi V_u \geq V_n$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.69)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.1)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times bw \times d \quad (2.70)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.3.1(1))

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times bw \times d \quad (2.71)$$

$$V_{s_{max}} = \phi \sqrt{f_c'} \times \frac{1}{3} bw \times d \quad (2.72)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.4(3))

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (2.73)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.6(2))

$$A_v = \frac{b \times w}{3 f_y} \quad (2.74)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.5.5(3))



- Kontrol kondisi

- ▶ Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c \rightarrow (\text{Tidak perlu tulangan geser}) \quad (2.75)$$

- ▶ Kondisi 2

$$0,5 \times V_c \leq V \leq \varphi \times V_c \rightarrow (\text{Perlu tulangan geser minimum}) \quad (2.76)$$

$$(V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\text{min}}})$$

- ▶ Kondisi 3

$$\varphi \times V_c < V_u \leq (\varphi \times V_c + \varphi \times V_{S_{\text{min}}})$$

$$\rightarrow (\text{Perlu tulangan geser minimum}) \quad (2.77)$$

$$(V_{S_{\text{perlu}}} = V_{S_{\text{min}}})$$

- ▶ Kondisi 4

$$(\varphi \times V_c + \varphi V_{S_{\text{min}}}) < V_u \leq (\varphi \times V_c + \varphi \times V_{S_{\text{max}}})$$

$$\rightarrow (\text{Perlu tulangan geser minimum}) \quad (2.78)$$

$$(\varphi V_{S_{\text{perlu}}} = V_u - \varphi \times V_c)$$

Dimana :

$V_n$  = tegangan geser nominal

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

$A_v$  = luas tulangan geser

#### 2.3.1.4 Perhitungan Tulangan Torsi (Puntir)

Pengaruh puntir pada struktur non-prategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari:

$$T_u = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.79)$$

*(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.1.a)*

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir adalah:

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.80)$$

*(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.5)*

Sedangkan tulangan sengkang yang dibutuhkan untuk menahan puntir adalah sebagai berikut:

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yv}}{s} \cot \theta \quad (2.81)$$

*(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.6)*

Dimana :

$T_u$  = momen puntir terfaktor pada penampang

$T_n$  = kuat momen puntir nominal

$A_{cp}$  = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

$P_{cp}$  = keliling luar penampang beton

### 2.3.1.5 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

- Panjang penyaluran ( $l_d$ ), dinyatakan dalam diameter  $d_b$ . Nilai  $l_d$  tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai  $l_d/d_b$  harus diambil sebagai berikut.

Tabel 2.3 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang disepanjang $l_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \sqrt{f_c'}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{10 \sqrt{f_c'}}$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Tabel 11)

Panjang penyaluran ( $l_d$ ) dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar  $l_{db}$ . Nilai  $l_d$  tidak boleh kurang dari 200 mm.

Panjang penyaluran dasar  $l_{db}$  harus diambil sebesar

$$\frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} \quad (2.82)$$

Dan tidak kurang dari  $0,04 \times d_b \times f_y$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 14.3)

## 2.3.2 Kolom

### 2.3.2.1 Perencanaan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{l_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{l_{\text{balok}}} \quad (2.83)$$

Dimana:

$I_{\text{kolom}}$  = inersia kolom ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$l_{\text{kolom}}$  = tinggi bersih kolom

$I_{\text{balok}}$  = inersia balok ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$l_{\text{balok}}$  = tinggi bersih balok

$b_k$  dan  $d_k \geq 250$  mm

$$\frac{h_k}{b_k \text{ atau } d_k} \leq 25 \quad (2.84)$$

### 2.3.2.2 Kontrol Kelangsingan Kolom

$$\psi = \frac{\sum \left( \frac{EI}{l} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left( \frac{EI}{l} \right)_{\text{balok}}} \quad (2.85)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.6)

$$EI = \frac{(0,2E_c I_g) + (E_c I_g)}{1 + \alpha} \quad \text{atau} \quad EI = \frac{0,4 \times E_c I_g}{1 + \alpha}, \text{ pilih nilai terkecil} \quad (2.86)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

$$P_c = \frac{2 \times EI_{\text{kolom}}}{(k \times y)^2} \quad (2.87)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad \text{Untuk rangka portal tak bergoyang} \quad (2.88)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.2)

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 22 \quad \text{Untuk rangka portal bergoyang} \quad (2.89)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.2)

Apabila  $\frac{k \times l_u}{r} \geq 100$ , maka diperlukan perhitungan momen orde dua  
(2.90)  
(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.5)

Dimana:

$\Psi$  = rasio dari  $\sum \left( \frac{EI}{l} \right)$  kolom terhadap  $\sum \left( \frac{EI}{l} \right)_{\text{balok}}$   
pada salah satu ujung komponen struktur  
 $E_c$  = Modulus elastisitas beton  
 $I_g$  = momen inersia penampang bruto beton  
terhadap garis sumbu  
 $P_c$  = beban kritis

### 2.3.2.3 Pembesaran Momen

-  $M_c = \eta_{ns} \times M_2$ , untuk rangka portal tak bergoyang  
 $\eta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}} \geq 1$  (2.91)

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

-  $M_1 = M_{1ns} + \eta_s M_{1s}$  (2.92)  
(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.13.3)

-  $M_2 = M_{2ns} + \eta_s M_{2s}$  untuk rangka portal bergoyang (2.93)  
(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3)

Dimana:

$\Delta_{ns}$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping  
 $C_m$  = suatu faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen  
 $M_{1s}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan

akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M2s = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M1ns = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M2ns = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

#### 2.3.2.4 Perhitungan Penulangan Lentur

Hitung :

- Tentukan Harga

- Nilai  $M_{ox}$  dan  $M_{oy}$

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left[ \frac{h}{b} \right] \left[ \frac{1-}{ } \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \quad (2.94)$$

$$M_{oy} = M_{ny} + M_{nx} \left[ \frac{b}{h} \right] \left[ \frac{1-}{ } \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \quad (2.95)$$

$$- \frac{P_u}{A_g} \text{ dan } \frac{M_{ox}}{A_g \times h} \quad (2.96)$$

-  $\rho_{\text{perlu}}$  didapat dari diagram interaksi

$$- A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \quad (2.97)$$

#### 2.3.2.5 Kontrol Kemampuan Kolom

- Hitung  $M_{ox}$  dan  $M_{oy}$  baru

- Cari dengan table hubungan interaksi lentur biaksial

$$\left(\frac{M_{ny}}{M_{ox}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{nx}}{M_{ox}}\right)^{\alpha} \leq 1 \quad (2.98)$$

$$- M^o \geq \frac{M_u}{\quad} \quad (2.99)$$

### 2.3.2.6 Perhitungan Penulangan Geser

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \quad (2.100)$$

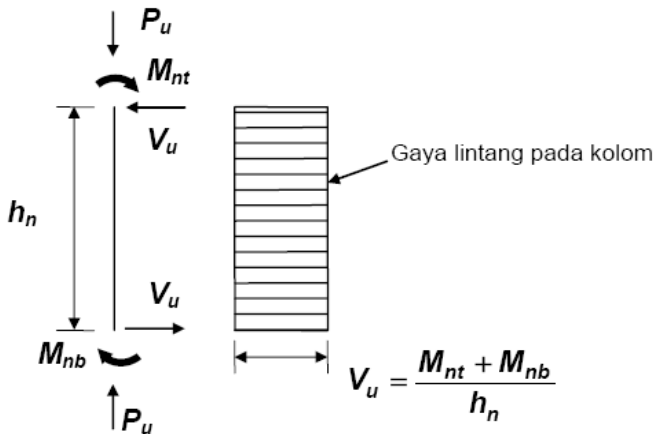
Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b_w \times d\right) \quad (2.101)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 12.3.1.2)

(untuk daerah lapangan nilai  $V_c$  diambil setengah dari nilai tumpuan)

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} + V_{1,2DL+1LL} \quad (2.102)$$



Gambar 2.3 Gaya lintang Rencana Pada Kolom Untuk SRPMM

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser ( $V_c$ ) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = 1 + \frac{N_u}{14A_g} \times \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b_w \times d \quad (2.103)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.3.1.(2))

### 2.3.2.7 Perhitungan Jarak Spasi Tulangan Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10, syarat untuk menentukan jarak spasi maksimum tulangan pada kolom adalah sebagai berikut:

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $\leq 8 \times \emptyset$  tulangan longitudinal terkecil
- $\leq 24 \times \emptyset$  sengkang ikat
- $\leq 300\text{mm}$

Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- $1/6 \times$  tinggi bersih kolom
- Dimensi terbesar penampang kolom
- 500 mm
- Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 \times S_o$  dari muka hubungan balok-kolom. ( $S_o$  adalah spasi maksimum tulangan transversal)
- Spasi sengkang ikat pada sembarang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o$



## 2.4 Perencanaan Struktur Sekunder

### 2.4.1 Pelat

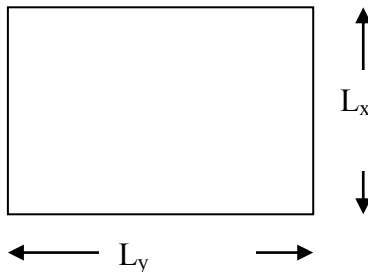
#### 2.4.1.1 Perencanaan Ketebalan Pelat

Menurut SNI 03-2847-2001, pasal 11.5.1, komponen struktur beton yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Untuk menentukan ketebalan pelat didasarkan pada:

- Perencanaan pelat satu arah (one way slab)

Pelat satu arah terjadi apabila  $\frac{L_y}{L_x} > 2$  ; dimana  $L_x$  adalah bentang pendek dan  $L_y$  adalah bentang panjang.



Gambar 2.4 Bentang pelat  $L_x$  dan  $L_y$

Tabel 2.4 Perencanaan pelat satu arah (lendutan tidak dihitung)

	Tebal minimum (h)			
Komponen struktur	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau kontruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
<b>CATATAN</b> ► Panjang bentang dalam mm ► Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ( <b>Wc = 2400 kg/m<sup>3</sup></b> ) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara <b>1500 kg/m<sup>3</sup></b> sampai <b>2000 kg/m<sup>3</sup></b> , nilai tadi harus dikalikan dengan <b>(1,65 – 0,0003 Wc)</b> tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana <b>Wc</b> adalah berat jenis dalam kg/m <sup>3</sup> b. Untuk <b>f<sub>y</sub></b> selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan <b>(0,4 + <math>\frac{f_y}{700}</math>)</b> .				

(sumber : SNI 03-2847-2002, Tabel 8)

- Perencanaan pelat dua arah (two way slab)  
Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 11.5.3, tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya dengan  $\frac{L_y}{L_x} < 2,0$  maka harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Untuk  $\alpha m \leq 0,2$ , harus memenuhi ketentuan tabel 10 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

Plat tanpa penebalan  $> 120 \text{ mm}$

Plat dengan penebalan  $> 100 \text{ mm}$

- Untuk  $0,2 < \alpha m < 2,0$ , ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36+5 (\alpha m - 0,2)} > 120 \text{ mm} \quad (2.104)$$

- Untuk  $\alpha m > 2,0$ , ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36+9} > 90 \text{ mm} \quad (2.105)$$

Dimana:

$\alpha m$  = nilai rata-rata  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi

Tabel 2.5 Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh ( $f_y$ , Mpa)	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
300	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
400	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
500	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$
a. Untuk tulangan dengan leleh diantara 300 Mpa dan 400 Mpa atau diantara 400 Mpa dan 500 Mpa, gunakan interpolasi linier. b. Penebalan panel didefinisikan dalam 15.3.(7(1)) dan 15.3.(7(2)) c. Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya disepanjang tepi luar. Nilai $\alpha$ untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.						

(sumber : SNI 03-2847-2002, table 10)

### 2.4.1.2 Perencanaan Penulangan Pelat

- Analisis struktur pelat

Rasio kekakuan balok terhadap plat:

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} > 1 \quad (2.106)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, pasal 15.3.6)

Dimana:

$E_{cb}$  = modulus elastisitas balok beton

$E_{cp}$  = modulus elastisitas pelat beton

$I_b$  = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

$I_p$  = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

- Kebutuhan penulangan pelat

Perhitungan momen-momen yang terjadi pada pelat berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 (PBBI 1971) table 12.2.1 dan 13.3.2

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.107)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.108)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 10.4.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \quad (2.109)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Pasal 12.3.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \quad (2.110)$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (2.111)$$

Jika perlu  $\text{perlu} < \text{min}$  maka  $\text{perlu}$  dinaikkan 30%, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{pakai} &= 1,3 \times \text{perlu} \\ \text{As} &= \text{perlu} \times b \times d \end{aligned}$$

- Kontrol jarak spasi tulangan (*SNI 03-2847-2002, Pasal 15.3.2*)

$$S_{max} < 2 \times h \quad (2.112)$$

Dimana:

= rasio tulangan tarik non-prategang

b = rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

S max = jarak maksimum sengkang

- Kontrol tulangan susut dan suhu (*SNI 03-2847-2002, Pasal 9.12.2(1)*)

Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014

Tabel 2.6 Rasio Tulangan Susut dan Suhu

		Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
a.	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 Mpa	0,0020
b.	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos ulir) mutu 400 Mpa	0,0018
c.	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 Mpa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35	$0,0018 \times \frac{400}{f_y}$

(sumber : *SNI 03-2847-2002, Pasal 9.12.2(1)*)

- Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu (*SNI 03-2847-2002, Pasal 15.3.2*)

$$S_{max} < 2 \times h \quad (2.113)$$

- Kontrol retak tulangan

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian sehingga nilai  $z$  yang diberikan oleh:

$$z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \quad (2.114)$$

Tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

Tegangan pada tulangan akibat beban kerja  $f_s$  (MPa) harus dihitung sebagai momen maksimum tak terfaktor sebagai dengan hasil kali luas tulangan baja dengan lengan momen dalam. Bila tidak dihitung dengan cara di atas,  $f_s$  boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh  $f_y$  yang disyaratkan.

$$A = 2 \times d_c \times s \quad (2.115)$$

Dimana  $s$  adalah jarak antara batang tulangan. Untuk lebar retak yang digunakan adalah:

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \quad (2.116)$$

$\omega \leq 0,4$  mm untuk penampang di dalam ruangan

$\omega \leq 0,3$  mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

Spasi tulangan yang berada paling dekat pada permukaan tarik tidak boleh melebihi

$$s = \frac{9500}{f_y} - 2,5Cc \quad (2.117)$$

Tetapi tidak boleh melebihi

$$s = 300 \left( \frac{252}{f_s} \right) \quad (2.118)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002, Persamaan 26)

## 2.4.2 Tangga

### 2.4.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes.  
Merencanakan dimensi injakan dan tanjakan dengan persyaratan :

$$0,6 \leq (2t+i) \leq 0,65 \dots (\text{meter}) \quad (2.119)$$

Dimana:

t = tanjakan  $\leq 25$  cm

i = injakan dengan  $25 \text{ cm} \leq I \leq 40$  cm

maksimal sudut tangga =  $40^\circ$

### 2.4.2.2 Pembebanan Tangga

- Beban mati ( PPIUG 1983 pasal 1.0.1)
  - Berat sendiri
  - Spesi
  - Berat reiling
  - Keramik
- Beban hidup  $300 \text{ kg/m}^2$  ( PPIUG 1983 pasal 1.0.2)

### 2.4.2.3 Penulangan Struktur Tangga

Penulangan pada plat anak tangga dan plat bordes menggunakan perhitungan sesuai prinsip perencanaan plat.

## 2.5 Perencanaan Struktur Bawah

### 2.5.1 Pondasi

#### 2.5.1.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

$$C_n = \frac{C_{n1} + C_{n2}}{2} \quad (2.120)$$

Dimana :

C<sub>n1</sub> diambil 6D di atas ujung conus

C<sub>n2</sub> diambil 3,5D di bawah ujung conus

#### Kekuatan Tanah

$$P_{t_{ijin}} = \frac{A_{tiang} \times C_n}{SF_1} + \frac{K_{ell.tiang} \times JHP}{SF_2} \quad (2.121)$$

Dimana :

SF-1 conus = 2-3

SF-2 cleef = 5

#### 2.5.1.2 Perencanaan Tiang Pancang

- Perhitungan jarak antar tiang pancang :

$$2,5 D \leq S \leq 4D$$

- Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer:

$$1,5D \leq S_1 \leq 2D$$

- Efisiensi ( ) =  $1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n}$  (2.122)

= arctg (D/S); dengan D adalah diameter tiang pancang dan S adalah jarak antar tiang pancang.

$$P_{group \text{ tiang}} = ( ) \times P_{ijin} \quad (2.123)$$

- Gaya yang dipikul tiang

$$P \text{ satu TP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\sum y^2} \quad (2.124)$$



- Kontrol tiang pancang

$$P_{\max} \leq P_{\text{ijin}}$$

$$P_{\min} \leq P_{\text{ijin}}$$

$$P_{\max} \leq P_{\text{group tiang}}$$

### 2.5.1.3 Perencanaan Pile Cap (Poer)

- Penulangan Lentur Poer

- Rencanakan ketinggian (h) poer

- Tentukan momen yang terjadi :

$$M_u = (P \cdot x) - (1/2 \cdot q \cdot l^2)$$

- Hitung Penulangan :

$$\min = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.125)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \quad (2.126)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \quad (2.127)$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (2.128)$$

$$A_s = x \cdot b \cdot x \cdot d \quad (2.129)$$

- Penulangan Geser Poer

Untuk perencanaan poer, nilai  $V_c$  harus diambil sebagai nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut:

$$V_c = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{6} \quad (2.130)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1(a))

$$V_c = \left( \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \quad (2.131)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1 (b))

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot d \quad (2.132)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1(c))

$$V_c > V_u \quad (2.133)$$

### 2.5.1.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

- Tulangan kondisi tarik

$$\frac{d}{d_s} = \frac{3fy\alpha}{5\sqrt{f_c}} \geq 300\text{mm} \quad (2.134)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \times d \quad (2.135)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.5)

- Tulangan kondisi tekan

$$d = \frac{d_b \times fy}{4 \times \sqrt{f_c}} \geq 0.04 \times d_b \times fy \quad (2.136)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3.2)

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{pasang}}} \times d \quad (91)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.5)

- Tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$h_b = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_c}} \quad (2.137)$$

(untuk batang dengan fy sama dengan 400 MPa)  
(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.2)

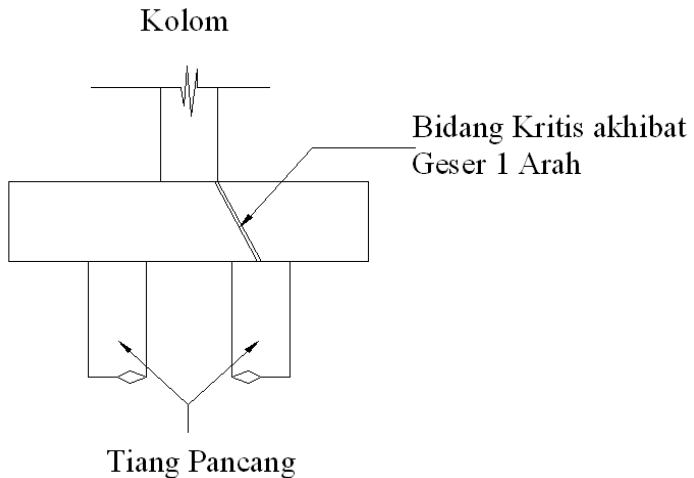
### 2.5.1.5 Kontrol Geser Pons Poer

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi, dimana  $V_c$  diambil dari persamaan-persamaan berikut:

#### 2.5.1.5.1 Geser Satu Arah Pada Poer

- Tentukan beban poer  $t = \frac{P}{\text{LuasPoeer}}$
- Menentukan luasan tributary akibat geser satu arah

- Kontrol “d” (tebal poer) berdasarkan gaya geser satu arah
  - $u = \frac{\sum P}{A}$
  - $V_u = u \times (\text{luas total poer} - \text{luas pons})$
  - Kontrol perlu tulangan geser
    - $V_c > V_u$  (tidak perlu tulangan geser)
    - $V_c < V_u$  (Perlu tulangan geser)
- Jika  $V_c < V_u$  (perlu tulangan geser), maka dimensi poer diperbesar



Gambar 2.5 Bidang Kritis Akibat Geser 1 Arah

### 2.5.1.5.2 Geser Dua Arah Pada Poer

- Kontrol kemampuan beton :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b_o \times d \quad (2.138)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1(a))

Dimana :

$c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

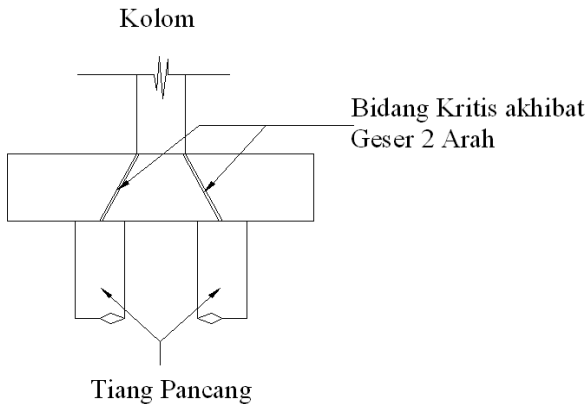
$b_o = 4(0,5d + b \text{ kolom} + 0,5d)$

$$V_c = \left[ \frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right] \frac{\sqrt{f_c} \times b_o \times d}{12} \quad (2.139)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1 (b))

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} \times b_o \times d \quad (2.140)$$

(sumber : SNI 03-2847-2002 Pasal 13.12.2.1 (c))



Gambar 2.6 Bidang Kritis Akibat Geser 2 Arah

## 2.6 Data Perencanaan

### 2.6.1 Data Bangunan

Nama Proyek	: Proyek Pembangunan Gedung Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) di Lokasi Surabaya (Kota)
Pemilik Proyek	: Departemen Pekerjaan Umum
Lokasi Proyek	: Jl. Randu, Kel. Sidotopo Wetan Kec. Kenjeran Surabaya
Struktur Bangunan Atas	: Menggunakan kontruksi beton bertulang
Struktur Bangunan Bawah	: Pondasi tiang pancang
Struktur Atap	: Menggunakan kontruksi atap baja

### 2.6.2 Data Tanah

Diperoleh dari data pengujian tanah yaitu berupa hasil tes SPT (*Standart Penetration Test*).

### 2.6.3 Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan pada perencanaan adalah :

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Mutu baja ( $f_{ys}$ ) = 240 Mpa

Mutu (rangka atap) = Rangka Kaku Baja

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Pengumpulan Data**

1. Gambar arsitektur dan struktur bangunan,
2. Data tanah,  
    Data tanah meliputi hasil uji sondir dan boring
3. Peraturan dan buku penunjang lainnya sebagai dasar teori maupun pendukung.

### **3.2 Preliminari Desain**

Penentuan dimensi elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 03-1726-2002 maupun ketentuan lain sesuai literatur yang dipakai. Elemen struktur yang perlu direncanakan adalah :

1. Struktur utama : balok dan kolom.
2. Struktur sekunder : tangga , pelat lantai dan atap rangka baja.

### **3.3 Perhitungan Pembebanan**

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan PPIUG 1983.

Analisa pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Beban konstruksi atap
  - a. Beban mati  
    Terdiri dari beban sendiri atap, plafond, rangka dan instalasi gedung.
  - b. Beban hidup  
    Beban pelaksanaan, air hujan dan angin.
2. Beban plat lantai
  - a. Beban mati  
    Terdiri dari beban sendiri pelat, spesi, keramik, beban plafond dan penggantung, ducting dan instalasi listrik.
  - b. Beban hidup

Ditentukan PPIUG 1983.

3. Beban tangga dan bordes
  - a. Beban mati  
Terdiri dari beban sendiri pelat tangga/bordes, spesi, dan keramik.
  - b. Beban hidup  
Ditentukan PPIUG 1983.
4. Beban gempa  
Analisa beban gempa statik ekuivalen
5. Beban angin  
Perbedaan selisih tekanan udara.

### 3.4 Analisis Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan SAP 2000 .Untuk Struktur sekunder pelat lantai ,nilai gaya dalam diperoleh berdasarkan *Tabel 13.3.1 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971* .

### 3.5 Perhitungan Penulangan Struktur

Komponen-komponen struktur didesain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 03-2847-2002. Perhitungan meliputi:

1. Output dari SAP 2000 yang berupa momen-momen dan bidang D serta dimensi perencanaan,
2. Kontrol penulangan,
3. Penabelan penulangan yang digunakan untuk bangunan 1 arah melintang dan 1 arah memanjang termasuk pondasi,
4. Sketsa gambar penulangan.

### 3.6 Kontrol Persyaratan

1. Pelat
  - a. Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-2847-2002, Pasal 15.3.2),
  - b. Kontrol jarak spasi tulangan susut,



- c. Kontrol perlu tulangan susut (SNI 03-2847-2002, Pasal 9.12.2.1) dan (SNI 03-2847-2002, Pasal 10.4.3),
  - d. Kontrol lendutan (SNI 03-2847-2002, Pasal 11.5.3.4).
- 2. Balok
  - a. Kontrol  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  untuk penulangan lentur,
  - b. Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 5 kondisi.
- 3. Kolom
  - a. Kontrol kemampuan kolom,
  - b. Kontrol momen yang terjadi  $M_{pasang} \geq M_n$ .
- 4. Poer
  - a. Kontrol dimensi poer,
  - b. Kontrol geser pons.

### 3.7 Gambar Rencana

Gambar perencanaan meliputi :

- 1. Gambar Arsitek
  - a. Gambar denah,
  - b. Gambar tampak.
- 2. Gambar Potongan
  - a. Potongan memanjang,
  - b. Potongan melintang.
- 3. Gambar Penulangan
  - 1. Gambar penulangan pelat,
  - 2. Gambar penulangan tangga,
  - 3. Gambar penulangan balok,
  - 4. Gambar penulangan kolom,
  - 5. Gambar penulangan sloof,
  - 6. Gambar penulangan poer dan pondasi.
- 4. Gambar Detail
  - 1. Gambar detail panjang penyaluran,
  - 2. Gambar detail sambungan kuda-kuda,
  - 3. Gambar detail pondasi dan poer.
- 5. Gambar Struktur

1. Gambar balok,
2. Gambar kolom,
3. Gambar sloof dan pondasi.

### **3.8 Flowchart**

Bagan alur pengerjaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut



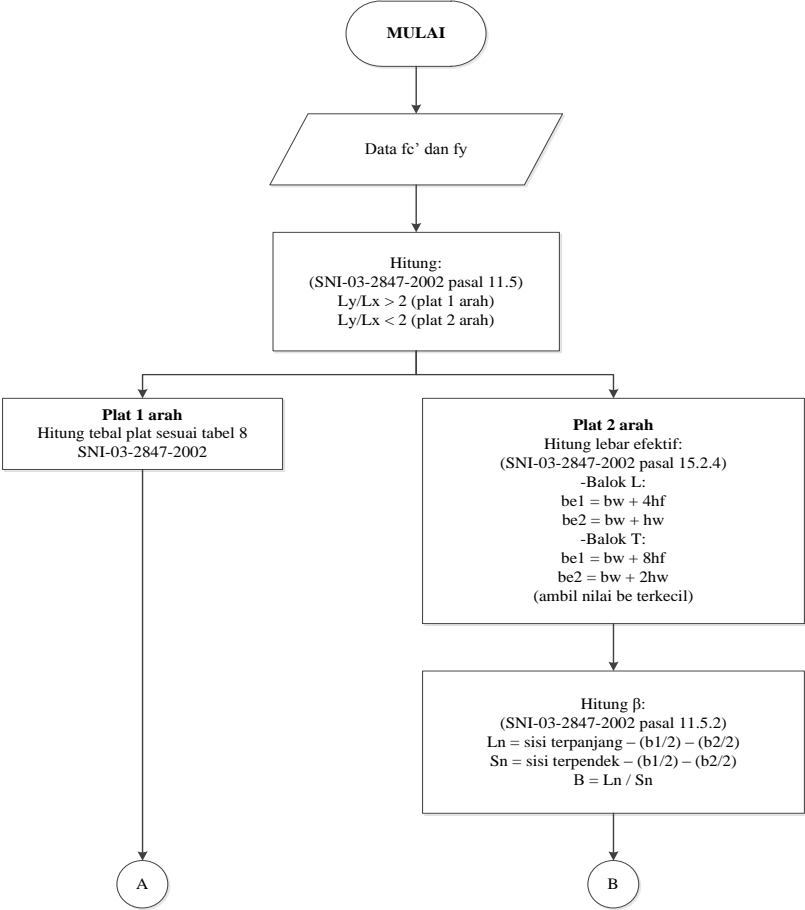
### 3.8.1 Perencanaan Struktur Sekunder

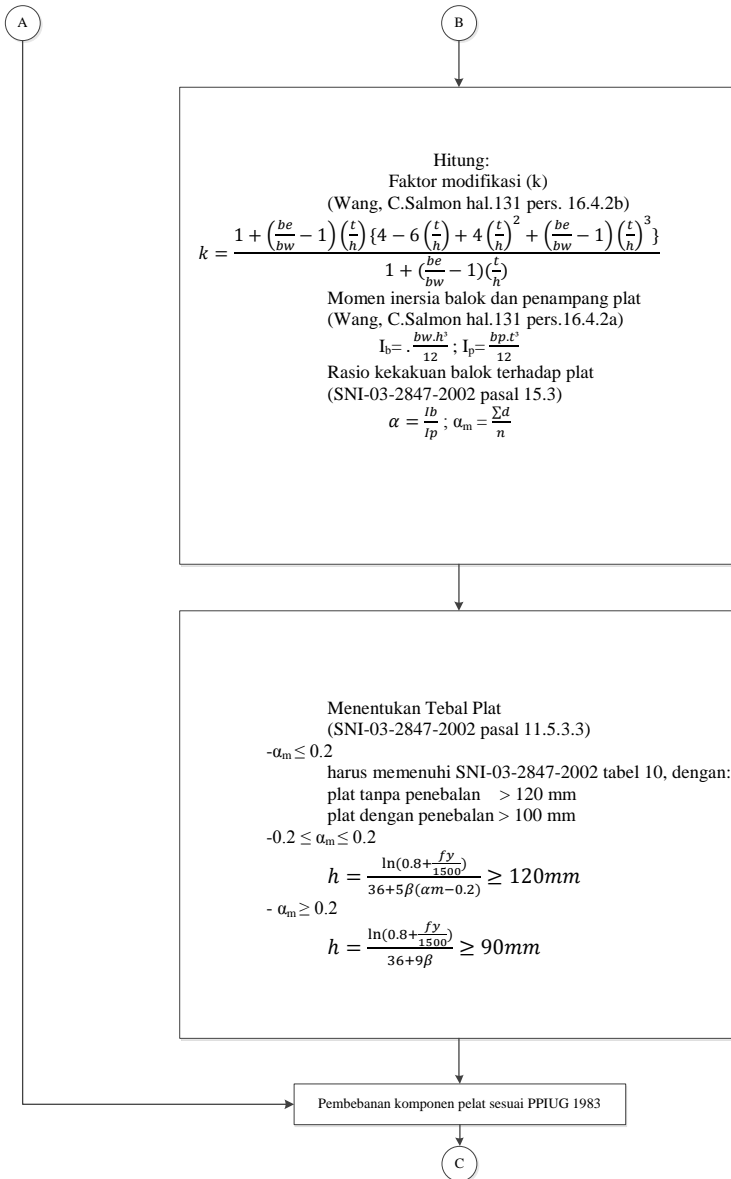
Struktur sekunder terdiri atas:

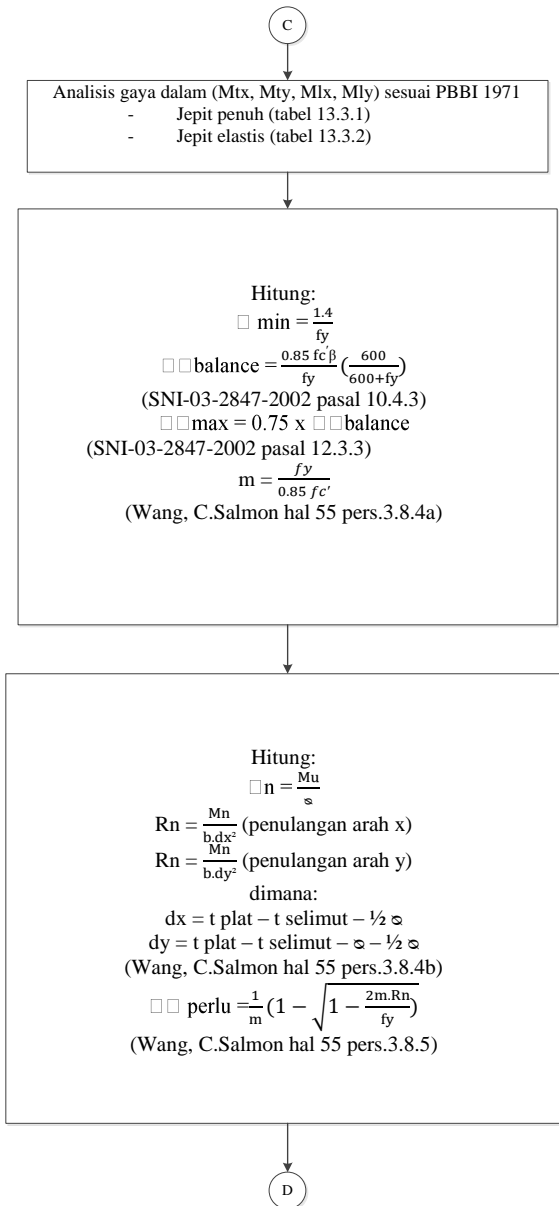
- Plat

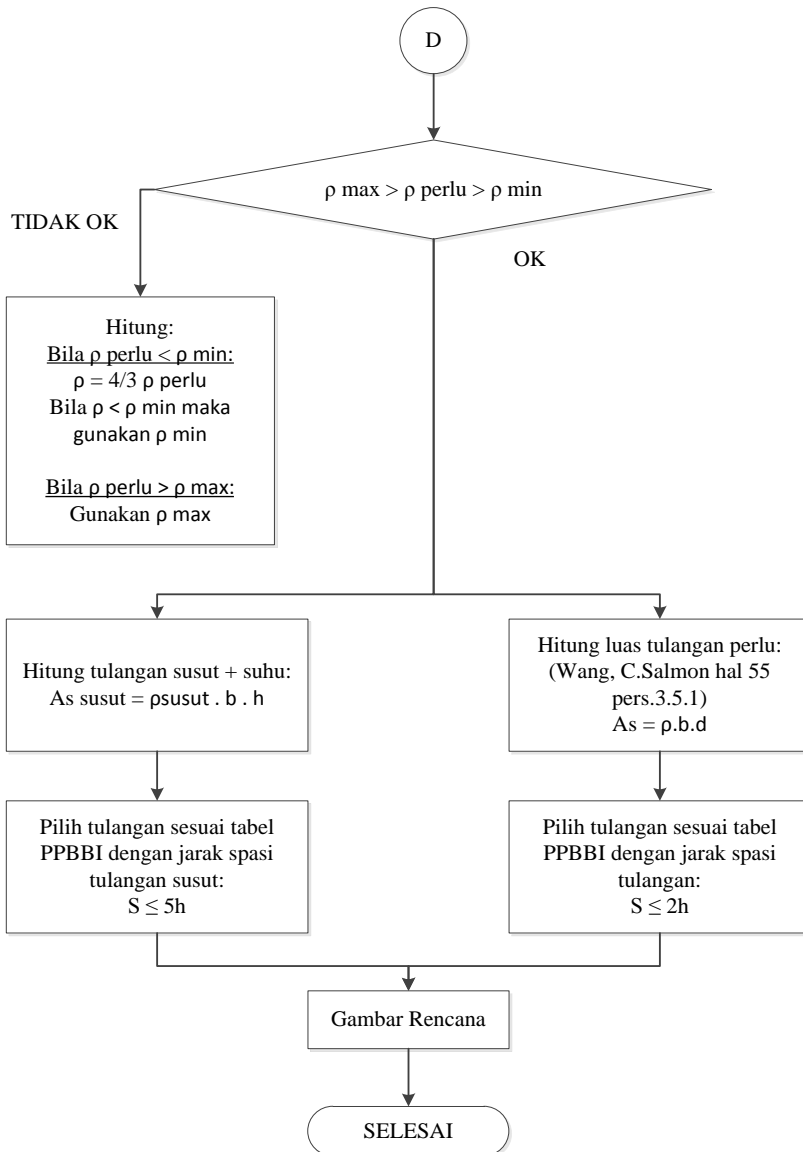
- Tangga

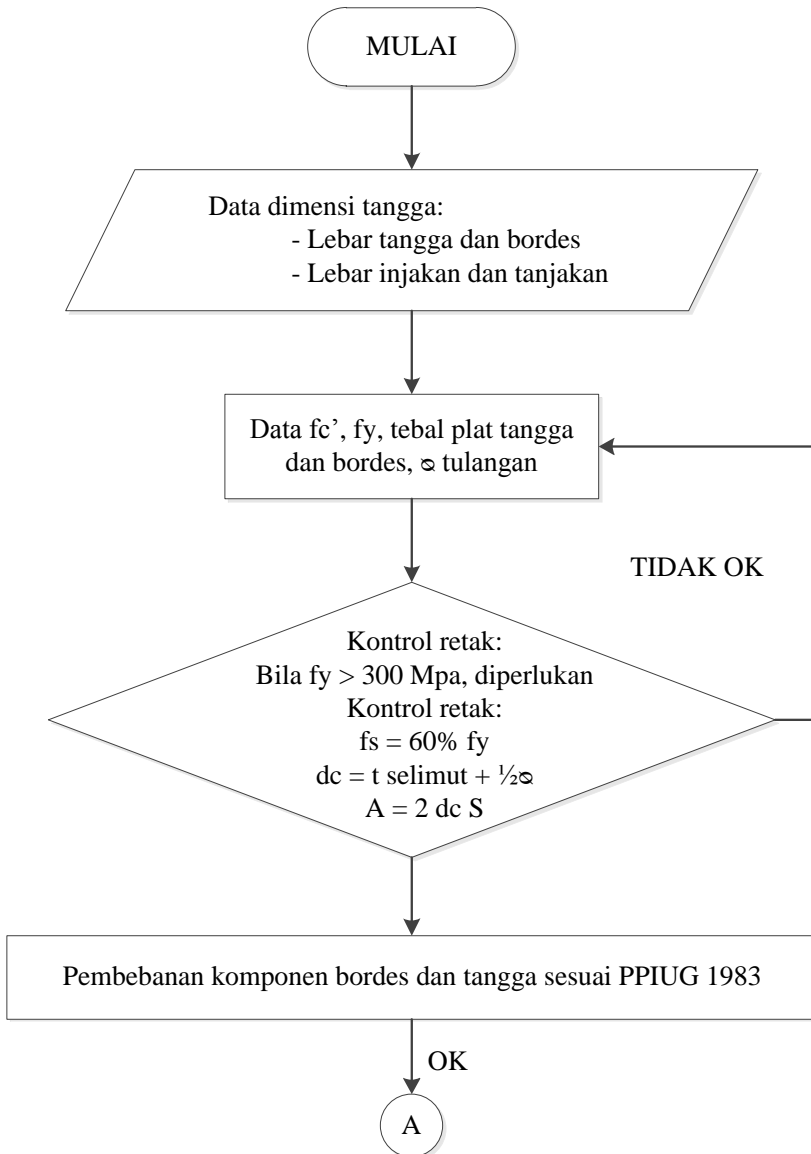
PLAT



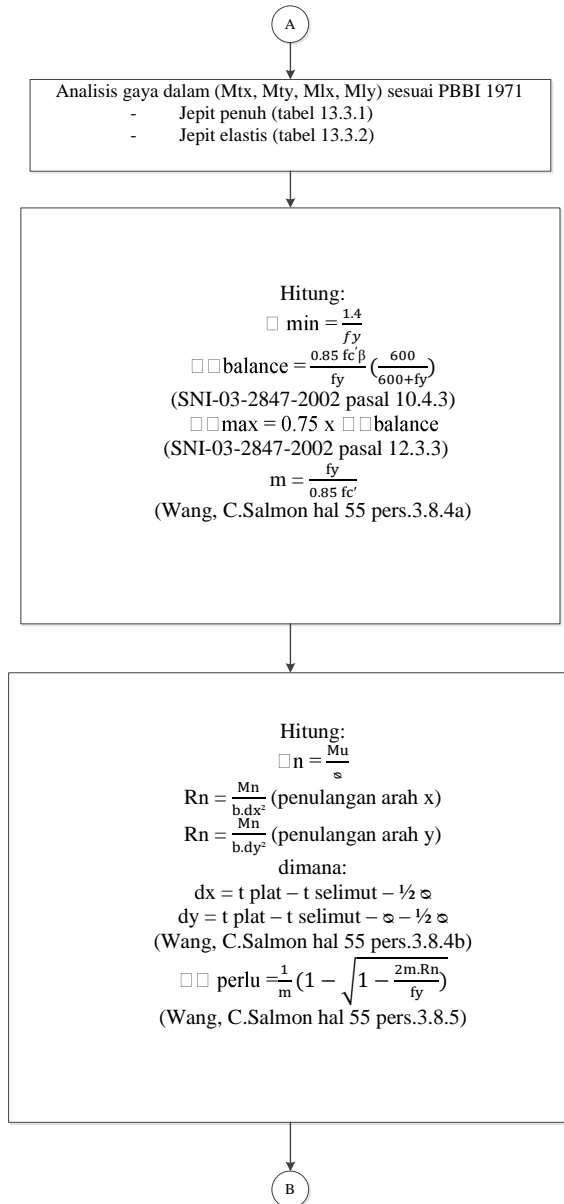


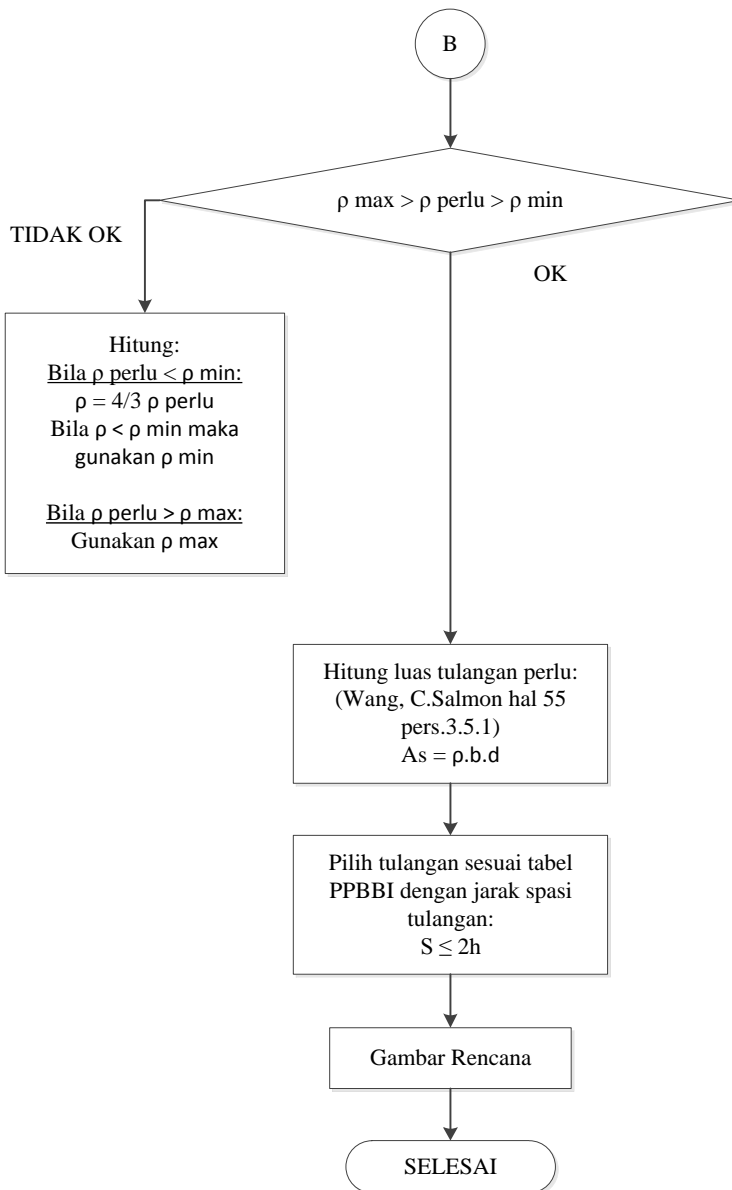




**TANGGA**





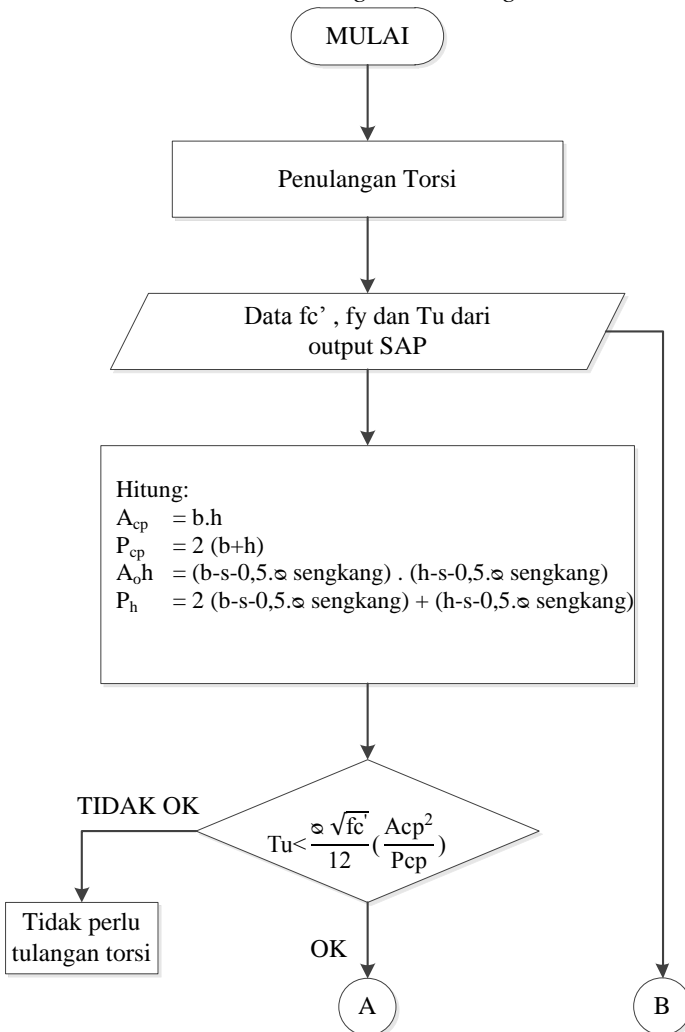


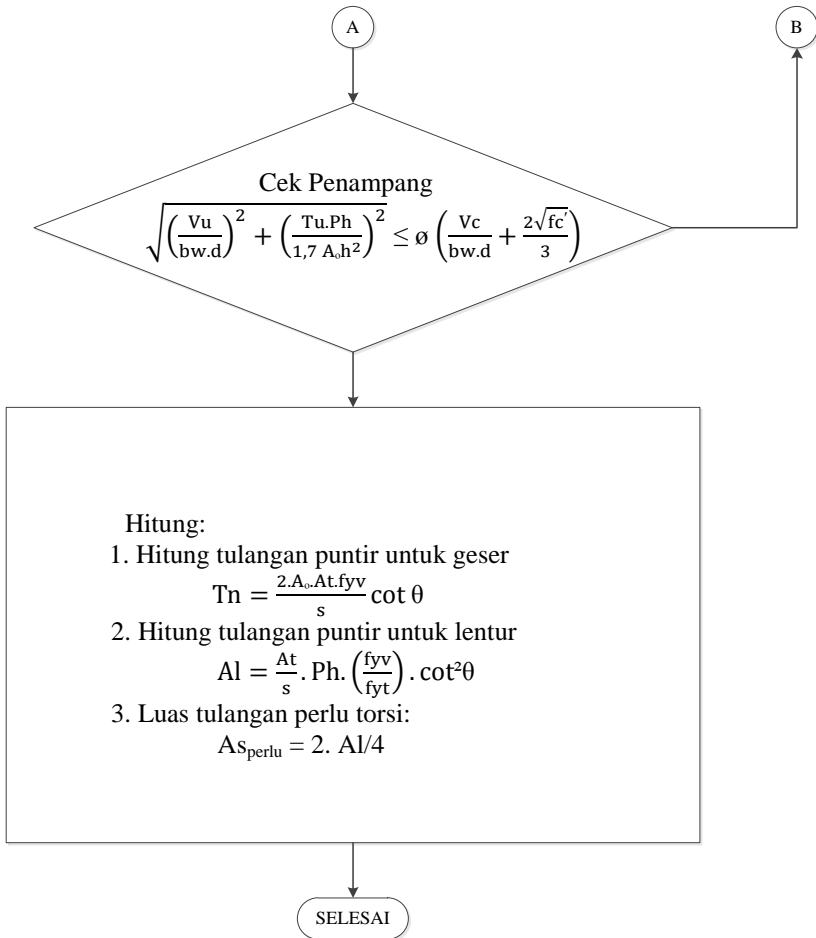
### 3.8.2 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer terdiri atas Balok dan Kolom

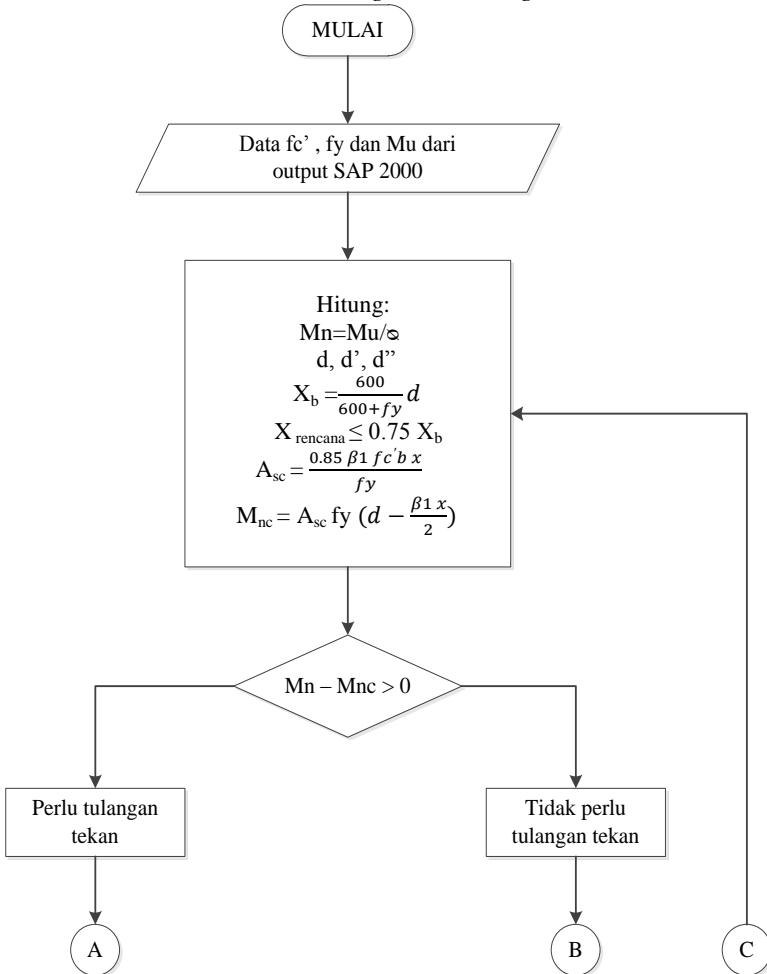
#### BALOK

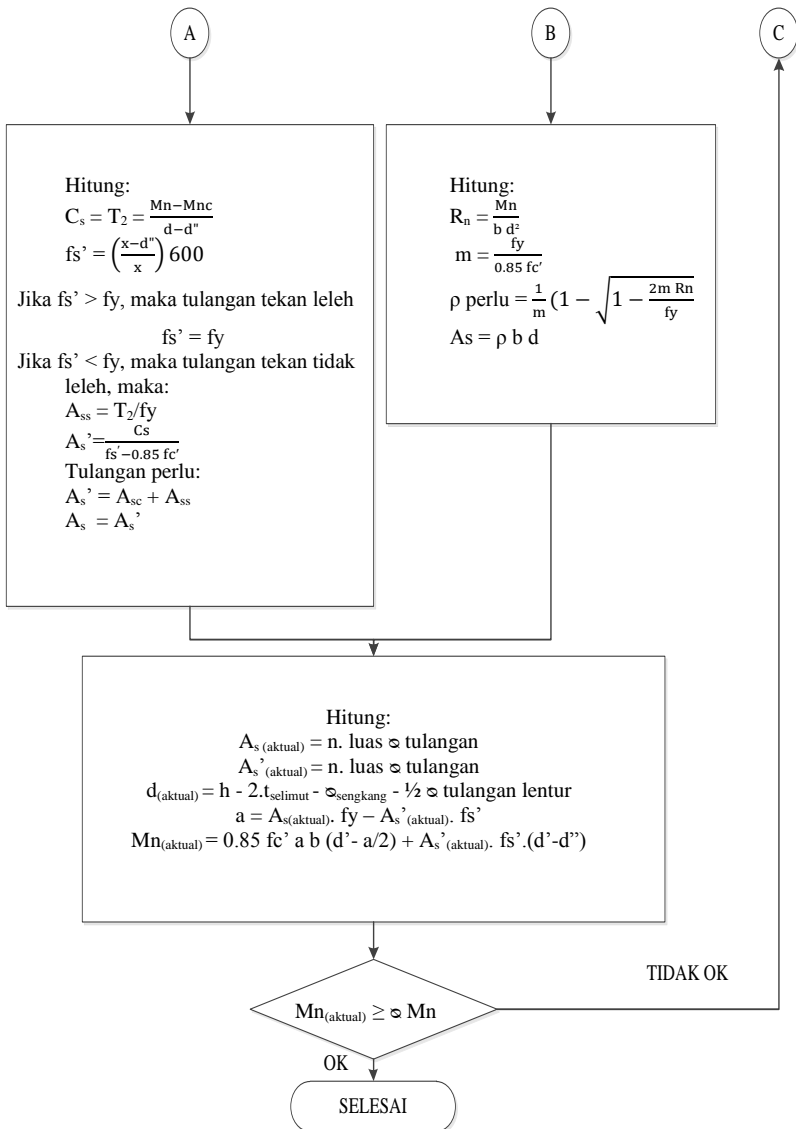
*Skema Perhitungan Penulangan Torsi*



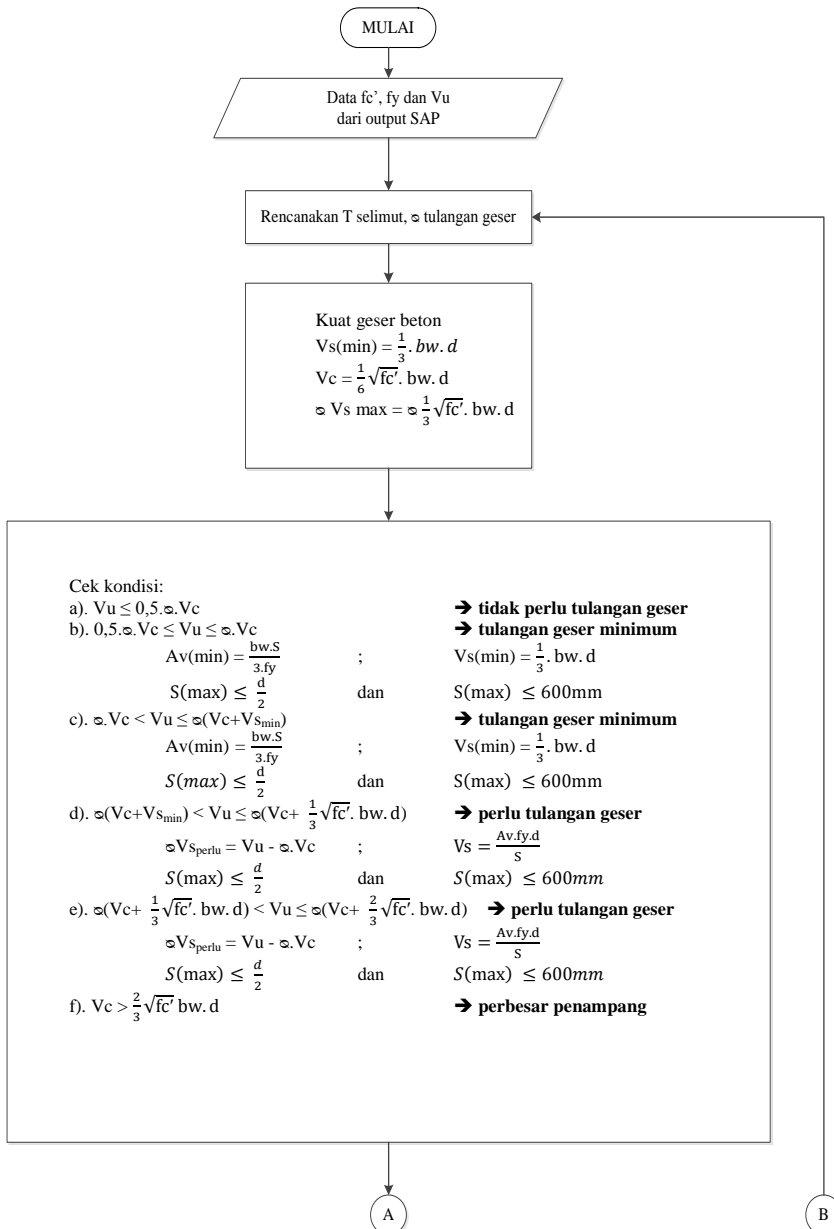


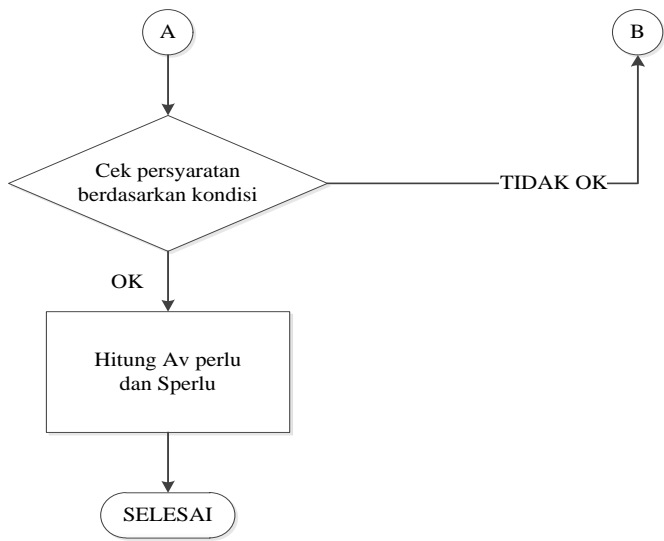
### Skema Perhitungan Penulangan Lentur





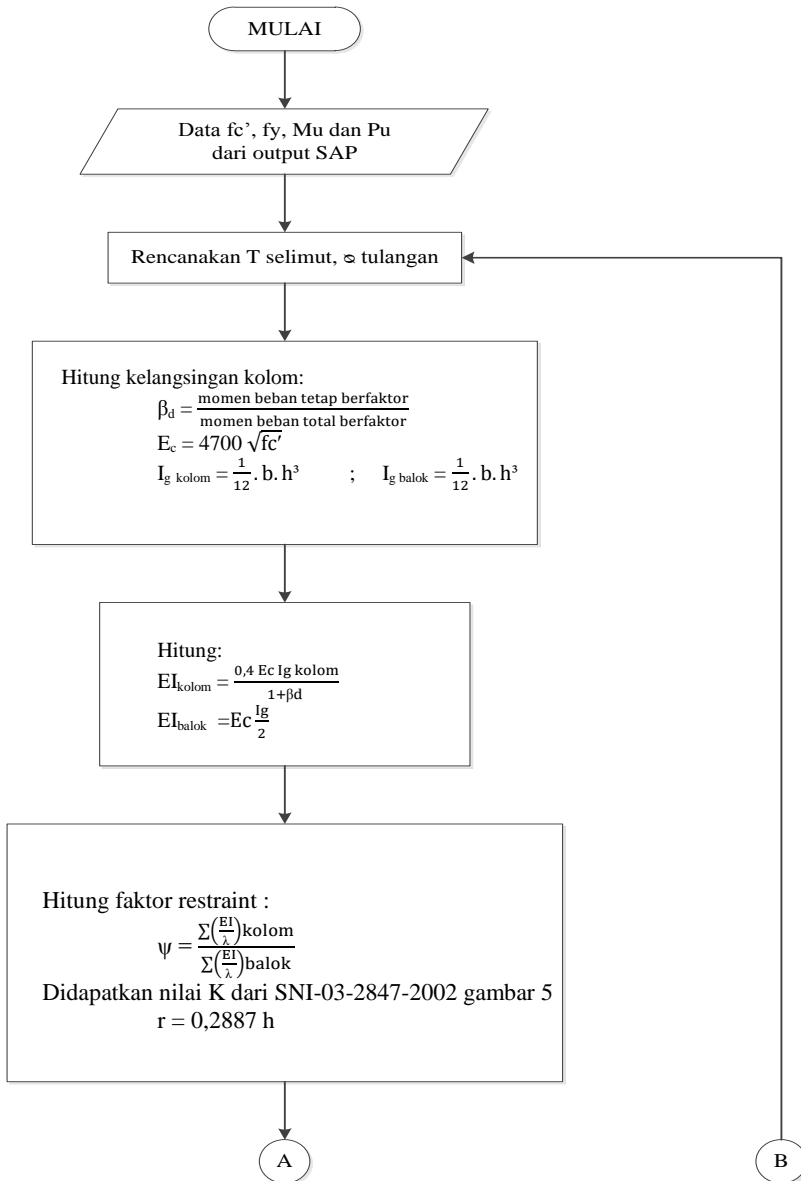
### Skema Perhitungan Penulangan Geser

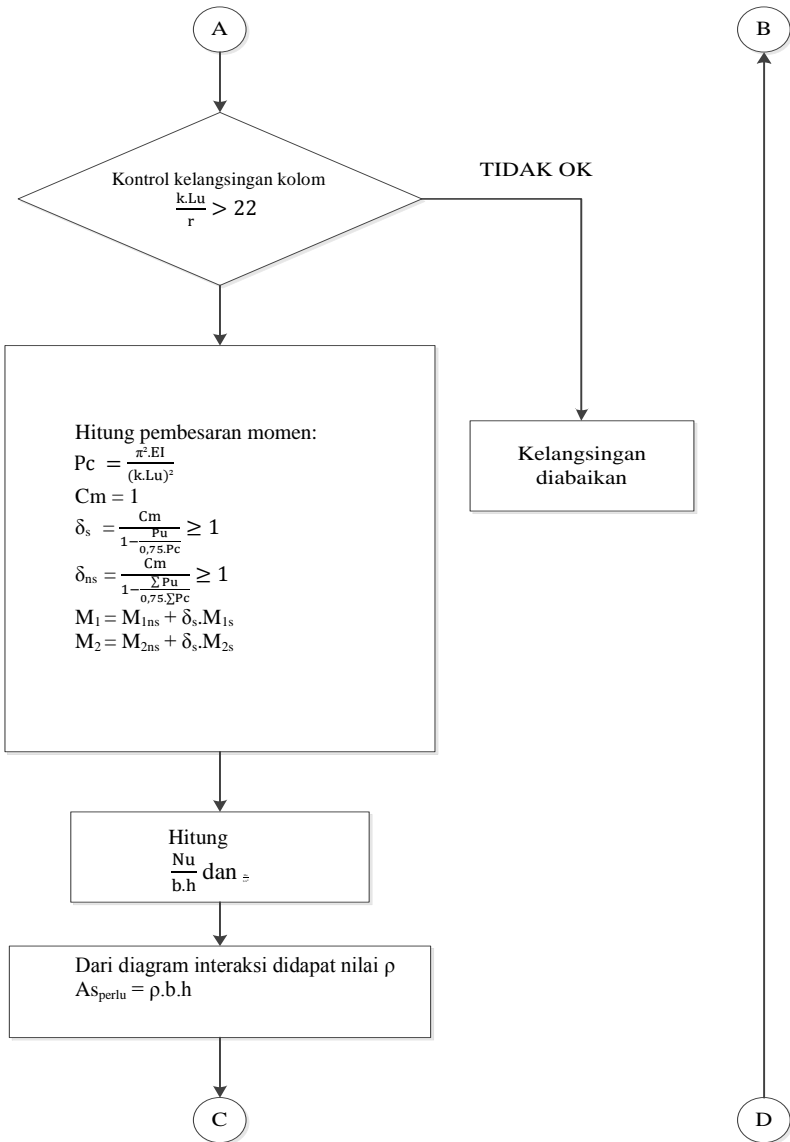


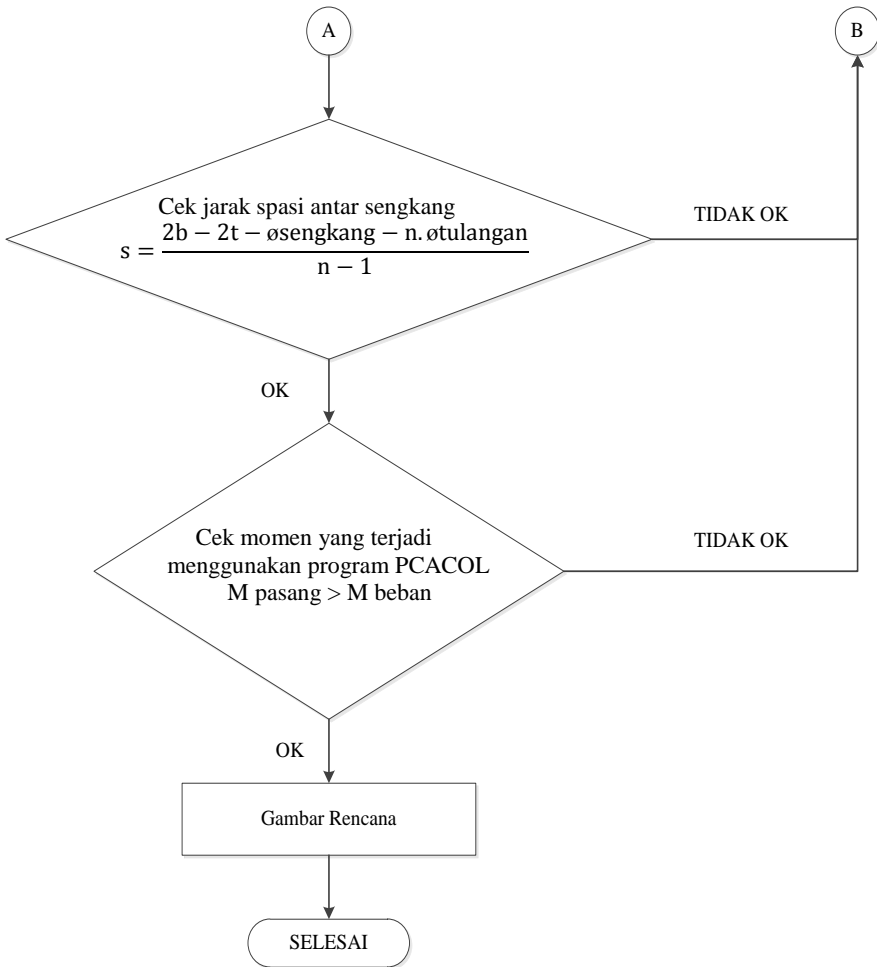




## KOLOM



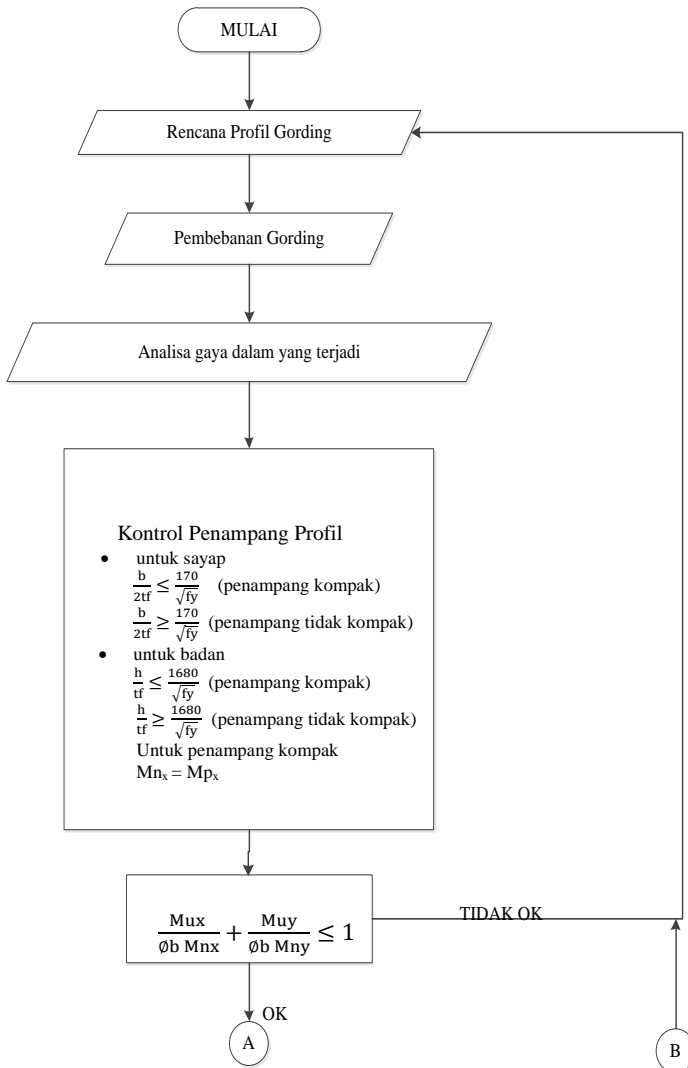


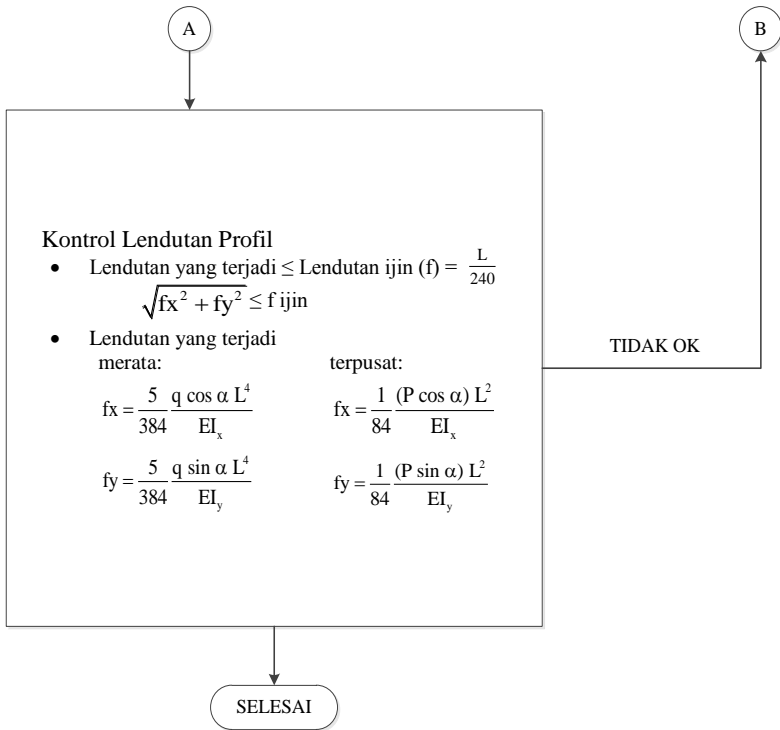


### 3.8.3 Perencanaan Struktur Atap

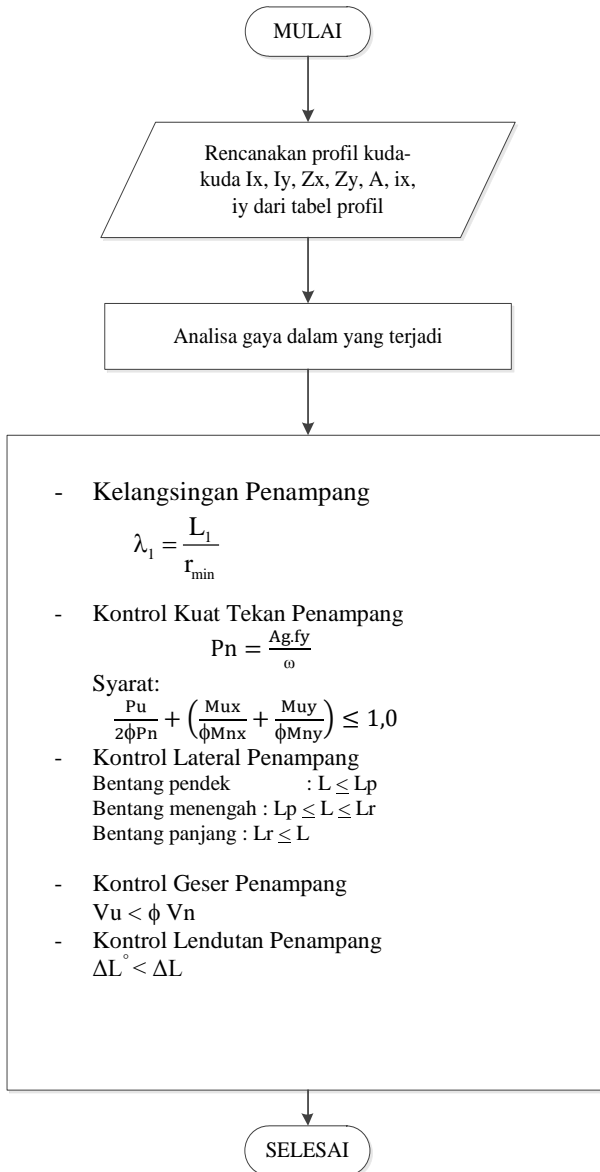
Terdiri atas Gording dan Kuda-kuda

#### GORDING



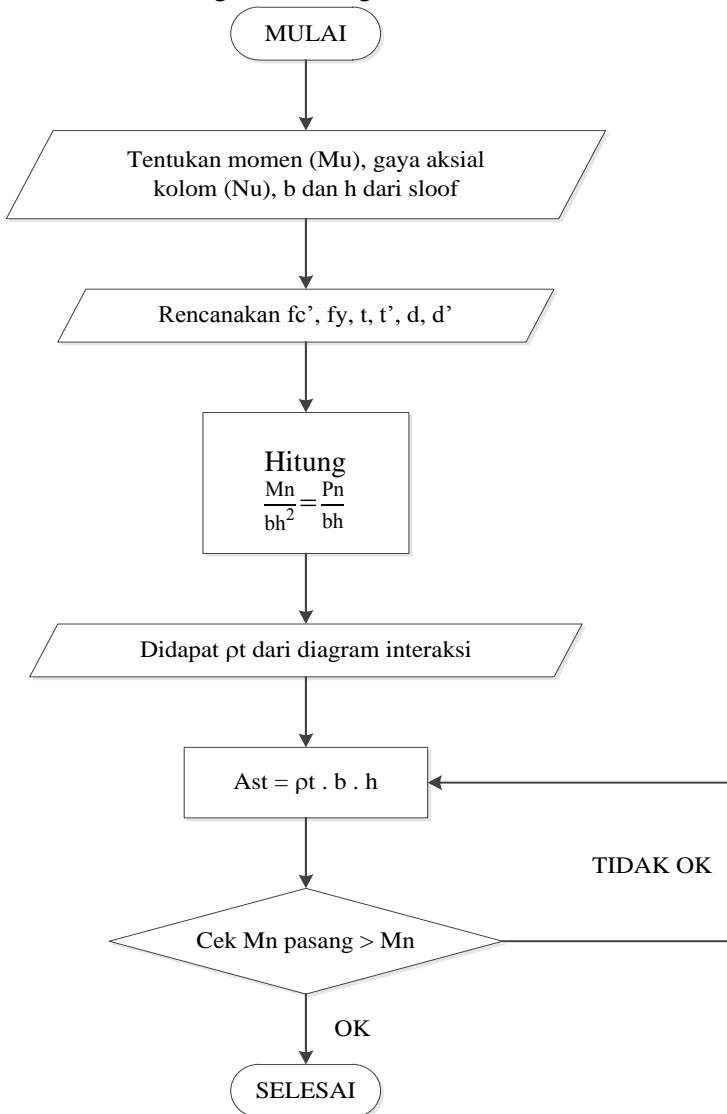


## KUDA – KUDA

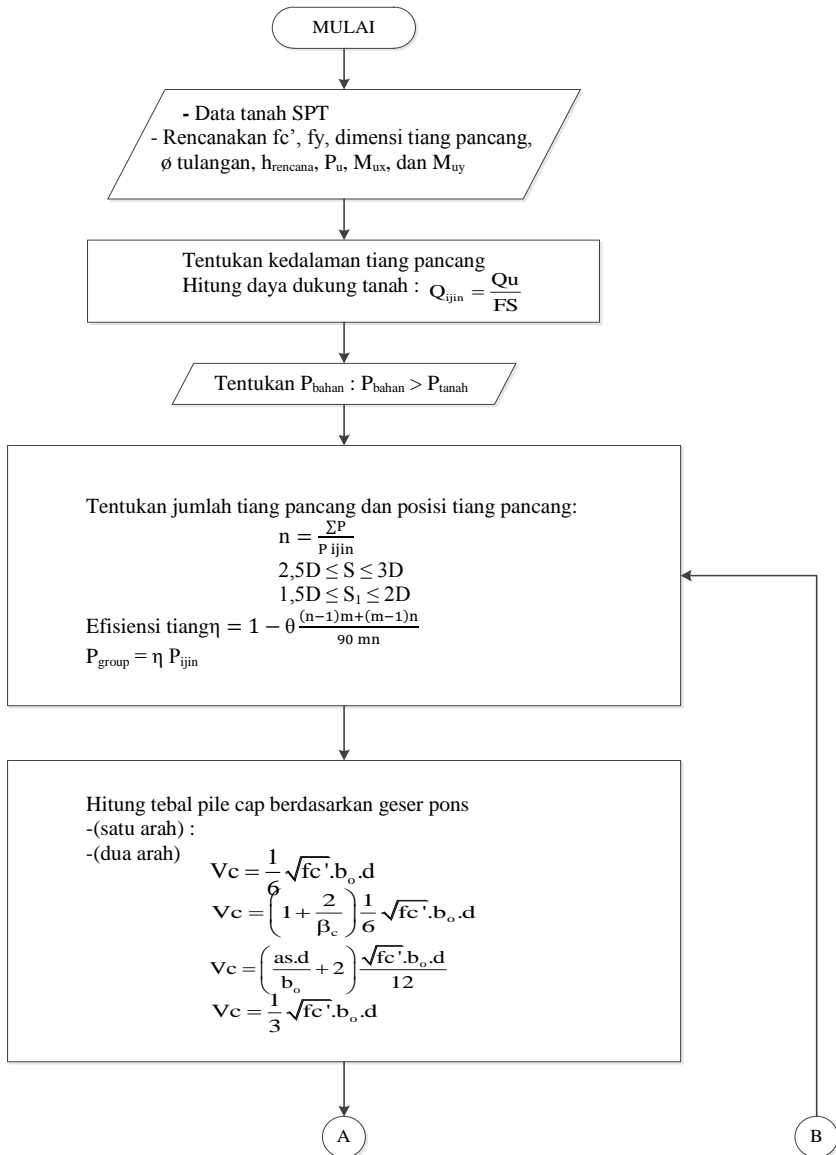


### 3.8.4 Perencanaan Struktur Pondasi

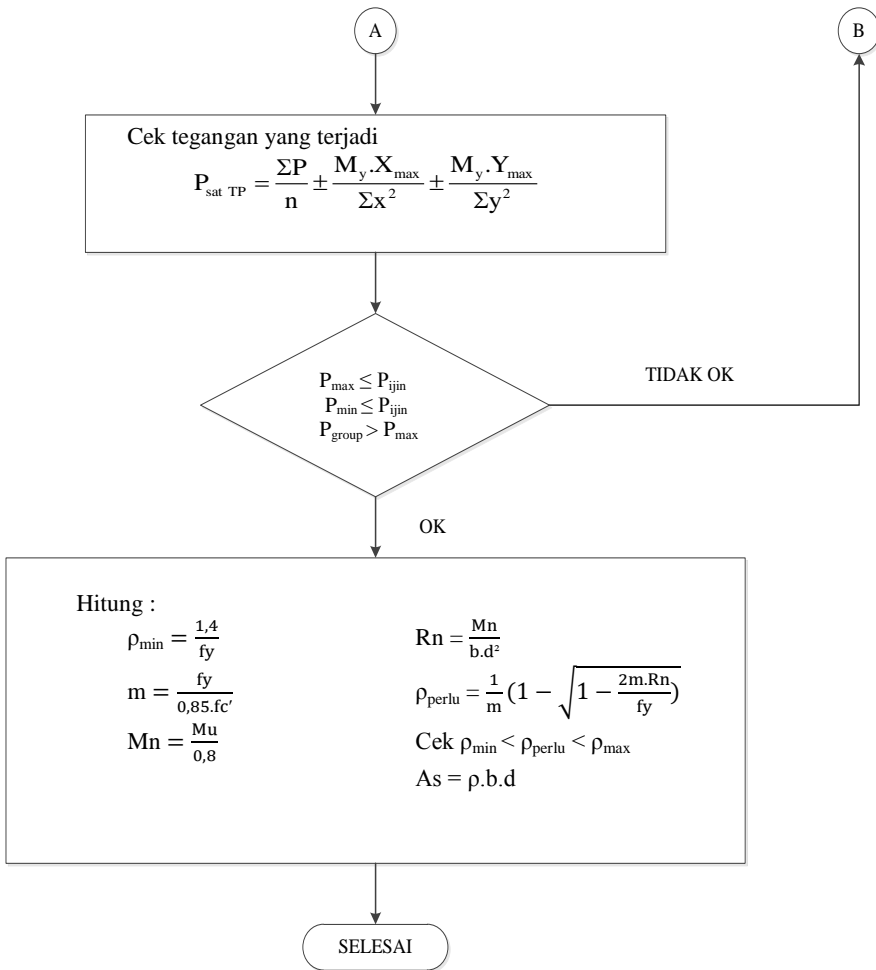
#### Perhitungan Penulangan Sloof



## Perhitungan Perencanaan Pondasi



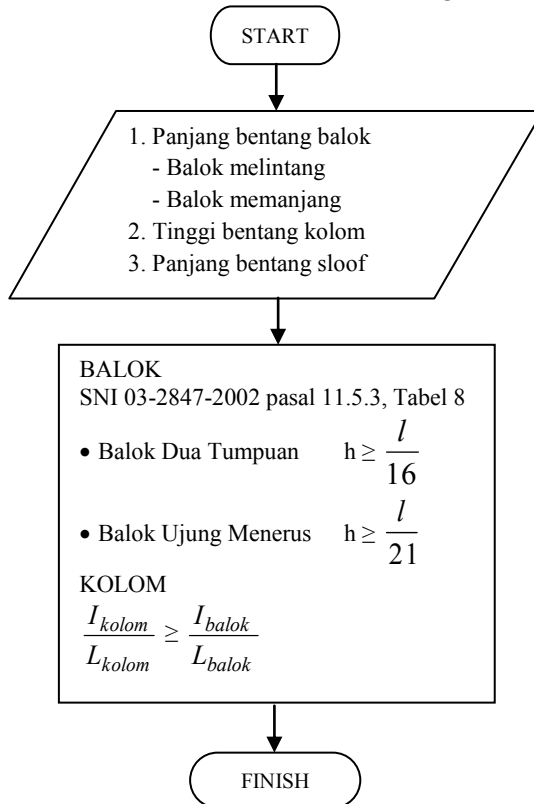




## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Perencanaan dimensi berikut bertujuan untuk mencari dimensi struktur balok, kolom dan sloof rencana dengan membandingkan ukuran dimensi struktur eksisting. Skema perencanaan dimensi struktur adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram perencanaan dimensi struktur

**4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok**

Rencana struktur:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

- **Balok Induk Memanjang pada Lantai**

Balok induk melintang dengan bentang  $l = 700 \text{ cm}$ 

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{16} \\ &= \frac{700}{16} \\ &= 43,75 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot 45 \\ &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok induk melintang direncanakan dengan dimensi 30/45.

- **Balok Induk Melintang pada Lantai**

Balok induk memanjang dengan bentang  $l = 300 \text{ cm}$ 

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{16} \\ &= \frac{300}{16} \\ &= 18,75 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot 30 \text{ cm} \\ &= 20 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok induk melintang direncanakan dengan dimensi 25/30.

- **Balok Anak Melintang**

Balok anak Melintang dengan bentang  $l = 300$  cm

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{21} \\ &= \frac{300}{21} \\ &= 14,29 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot h \\ &= \frac{2}{3} \cdot 30 \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok anak melintang direncanakan dengan dimensi 20/30.

- **Balok Kantilever Melintang**

Balok anak Melintang dengan bentang  $l = 150$  cm

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{8} \\ &= \frac{150}{8} \\ &= 18,75 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot h \\ &= \frac{2}{3} \cdot 30 \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok anak melintang direncanakan dengan dimensi 20/30.

- **Balok Kantilever Memanjang**

Balok anak Memanjang dengan bentang  $l = 120$  cm

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{8} \\ &= \frac{120}{8} \\ &= 15 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot h \\ &= \frac{2}{3} \cdot 30 \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok anak memanjang direncanakan dengan dimensi 20/30.

#### 4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dimensi kolom direncanakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} &\geq \frac{I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}} \\ \frac{\frac{1}{12}bh^3}{360} &\geq \frac{\frac{1}{12}bh^3}{700} \\ \frac{\frac{1}{12} \times b^4}{360} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times 30 \times 45^3}{700} \\ b &\geq \sqrt[4]{3332571} \\ &\geq 42,72 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm} \\ b &= h \\ h &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, dimensi kolom direncanakan dengan dimensi 45/45.

#### 4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dimensi Sloof direncanakan sebagai berikut :

- **Balok sloof Memanjang pada Lantai**

Balok slof melintang dengan bentang  $l = 700$  cm

$$\begin{aligned} h &= \frac{l}{16} \\ &= \frac{700}{16} \\ &= 43,75 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{2}{3} \cdot 45 \\ &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka, balok slof memanjang direncanakan dengan dimensi 30/45.

#### ❖ Kesimpulan

Balok Induk yang dipakai :

- Lantai Melintang 30/45
- Lantai Memanjang 25/30

Balok Anak yang dipakai :

- Melintang 20/30

Balok Kantilever yang dipakai :

- Melintang 20/30
- Memanjang 25/30

Kolom yang dipakai :

- Kolom 45/45

Sloof yang dipakai :

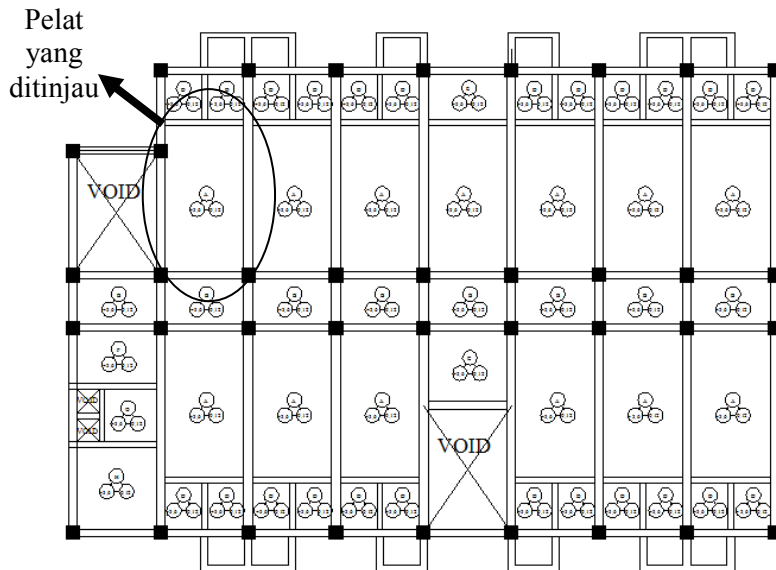
- Sloof 30/45

## 4.2 Perhitungan Pelat

### 4.2.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Perencanaan proyek akhir ini, dimensi struktur pelat Gedung Rumah Susun Sederhana Sewa Sidotopo terlebih dahulu diketahui yang merupakan dimensi pelat lantai dan pelat atap.

Berikut data-data perencanaan dimensi pelat lantai yang meliputi, perhitungan perencanaan, dan hasil akhir perencanaan dimensi pelat lantai.



Gambar 4.2 Denah Posisi Pelat yang ditinjau

#### 1. Pelat A

##### a) Data-data perencanaan

- Tipe pelat : A
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 MPa



- Rencana tebal pelat : 12 cm
- Bentang pelat sumbu panjang ( $L_y$ ) : 520 cm
- Bentang pelat sumbu pendek ( $L_x$ ) : 300 cm
- Balok 1 (kanan) : 30/45
- Balok 2 (bawah) : 25/30
- Balok 3 (kiri) : 30/45
- Balok 4 (atas) : 20/30

b) Perhitungan perencanaan

Bentang bersih sumbu panjang :

$$l_n = 520 - \frac{25}{2} - \frac{20}{2} = 490 \text{ cm}$$

Bentang bersih sumbu pendek :

$$S_n = 300 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2} = 270 \text{ cm}$$

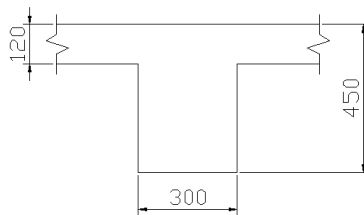
$$\beta = \frac{l_n}{S_n} = \frac{490 \text{ cm}}{270 \text{ cm}} = 1,78$$

⇒ **Balok 1 kanan (30/45)**

- Menentukan lebar efektif flens :

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

Balok Penampang – T



$$b_e = b_w + 2b_o \leq b_w + 16h_f$$

$$b_e = 30 + 275 \leq 30 + 192$$

$$be = 305 \leq 222$$

Maka dipakai nilai be terkecil = 222 cm

- Faktor modifikasi (k) :  
(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang & C.G. Salmon Jilid 2 hal 131.)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{222}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{45}\right) + 4 \left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{222}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{222}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$k = 3,04$$

- Momen inersia penampang T :

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 3,04 \times 30 \times \frac{45^3}{12}$$

$$I_b = 693.828,77$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = t^3 \times b_p \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 12^3 \times 0,5(300 + 300) \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 43200$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{693.828,77}{43.200}$$

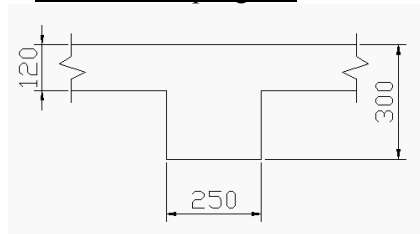
$$\alpha_1 = 16,06$$

⇒ **Balok 2 bawah (25/30)**

- Menentukan lebar efektif flens :

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

Balok Penampang – T



$$b_e = b_w + 2b_o \leq b_w + 16h_f$$

$$b_e = 25 + 270 \leq 25 + 192$$

$$b_e = 295 \leq 217$$

Maka dipakai nilai  $b_e$  terkecil = 217 cm

- Faktor modifikasi (k) :

(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang  
& C.G. Salmon Jilid 2 hal 131.)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{217}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{30}\right) + 4 \left(\frac{12}{30}\right)^2 + \left(\frac{217}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{217}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{30}\right)}$$

$$k = 2,305$$

- Momen inersia penampang T :

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 2,305 \times 25 \times \frac{30^3}{12}$$

$$I_b = 129.656,25$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = t^3 \times b_p \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 12^3 \times 0,5(350 + 180) \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 38.160$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

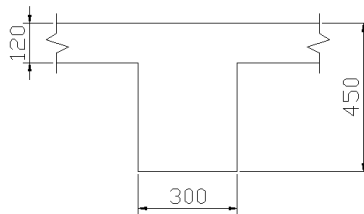
$$\alpha_2 = \frac{299.729,94}{38.160}$$

$$\alpha_2 = 3,39$$

⇒ **Balok 3 kiri (30/45)**

- Menentukan lebar efektif flens :  
(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

Balok Penampang – T



$$b_e = b_w + 2b_o \leq b_w + 16h_f$$

$$b_e = 30 + 327,5 \leq 30 + 192$$

$$b_e = 357,5 \leq 222$$

Maka dipakai nilai  $b_e$  terkecil = 222 cm

- Faktor modifikasi ( $k$ ) :  
(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang  
& C.G. Salmon Jilid 2 hal 131.)

$$k = \frac{1 + \left( \frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{t}{h} \right) + 4 \left( \frac{t}{h} \right)^2 + \left( \frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left( \frac{222}{30} - 1 \right) \left( \frac{12}{45} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{12}{45} \right) + 4 \left( \frac{12}{45} \right)^2 + \left( \frac{222}{30} - 1 \right) \left( \frac{12}{45} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{222}{30} - 1 \right) \left( \frac{12}{45} \right)}$$

$$k = 2,41$$

- Momen inersia penampang T :

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 2,41 \times 30 \times \frac{45^3}{12}$$

$$I_b = 549.028,125$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = t^3 \times b_p \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 12^3 \times 0,5(300 + 300) \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 43200$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

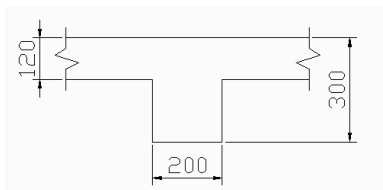
$$\alpha_3 = \frac{549.028,125}{43.200}$$

$$\alpha_3 = 12,705$$

#### ⇒ **Balok 4 atas (20/30)**

- Menentukan lebar efektif flens :  
(SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4)

#### Balok Penampang – T



$$b_e = b_w + 2b_o \leq b_w + 16h_f$$

$$be = 20 + 270 \leq 20 + 192$$

$$be = 290 \leq 212$$

Maka dipakai nilai  $be$  terkecil = 212 cm

- Faktor modifikasi ( $k$ ) :  
(DESAIN BETON BERTULANG; C.K Wang  
& C.G. Salmon Jilid 2 hal. 131)

$$k = \frac{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{t}{h} \right) + 4 \left( \frac{t}{h} \right)^2 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left( \frac{212}{20} - 1 \right) \left( \frac{12}{30} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{12}{30} \right) + 4 \left( \frac{12}{30} \right)^2 + \left( \frac{212}{20} - 1 \right) \left( \frac{12}{30} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{212}{20} - 1 \right) \left( \frac{12}{30} \right)}$$

$$k = 2,264$$

- Momen inersia penampang T :

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 2,264 \times 20 \times \frac{30^3}{12}$$

$$I_b = 101.800$$

- Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = t^3 \times b_p \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 12^3 \times 0,5(350 + 350) \times \frac{1}{12}$$

$$I_p = 50.400$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = \frac{101.800}{50.400}$$

$$\alpha_4 = 2,019$$

Dari keempat balok di sekeliling pelat di atas didapat nilai rata-rata  $\alpha_m$  :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{12,705 + 3,39 + 12,705 + 2,019}{4}$$

$$\alpha_m = 7,704$$

- Karena  $\alpha_m > 2,00$ , maka dipakai perhitungan sesuai dengan persamaan 17 dalam (SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3.3). Dimana ketebalan minimum pelat tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta}$$

$$h = \frac{327,5\left(0,8 + \frac{400}{1500}\right)}{36 + 9 \cdot 1,212}$$

$$h = 7,447$$



Jadi, perencanaan dimensi tebal pelat 120 mm (**memenuhi**).

- c) Hasil akhir perencanaan  
Maka digunakan dimensi tebal pelat lantai 120 mm.

#### 4.2.2 Pembebanan Pelat

Pembebanan beban yang ada pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG'83)*. Dan karena komponen struktur pelat merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati [DL] dan beban hidup [LL] dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan *SNI 03-2847-2002 pasal 11.2.1*) yaitu : 1,2 DL + 1,6 LL.

##### ➤ **Pembebanan pelat lantai 1 dan 2**

##### **Beban Mati (DL)**

Berat Pelat	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m <sup>2</sup>
Plafond + rangka	= 11 + 7	= 18 kg/m <sup>2</sup>
Spesi 2 cm	= 0,02 x 2100	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Keramik 1 cm	= 0,01 x 2400	= 24 kg/m <sup>2</sup>
Pemipaan air bersih dan kotor		= 25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik		= 40 kg/m <sup>2</sup> +
	DL	= 437 kg/m <sup>2</sup>

##### **Beban Hidup (LL)**

Beban hidup untuk bangunan hunian (Rusunawa)	
LL	= 250 kg/m <sup>2</sup>

##### **Beban Ultimate**

$$U = 1,2 (437) + 1,6 (250) \\ = 924,4 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Pembebanan pelat atap**

**Beban Mati (DL)**

Berat Pelat	$= 0,12 \times 2400$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Plafond + rangka	$= 11 + 7$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Spesi 2 cm	$= 0,02 \times 2100$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Pemipaan air bersih dan kotor		$= 25 \text{ kg/m}^2$
Instalasi listrik		$= 40 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 413 \text{ kg/m}^2$

**Beban Hidup (LL)**

Beban hidup untuk bangunan hunian (Rusunawa)	
LL	$= 100 \text{ kg/m}^2$

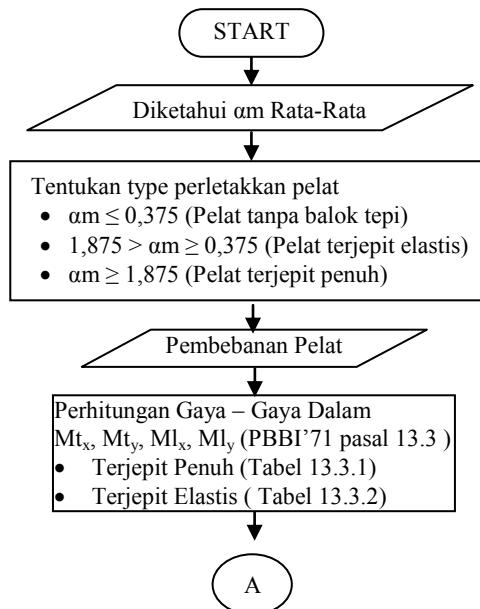
**Beban Ultimate**

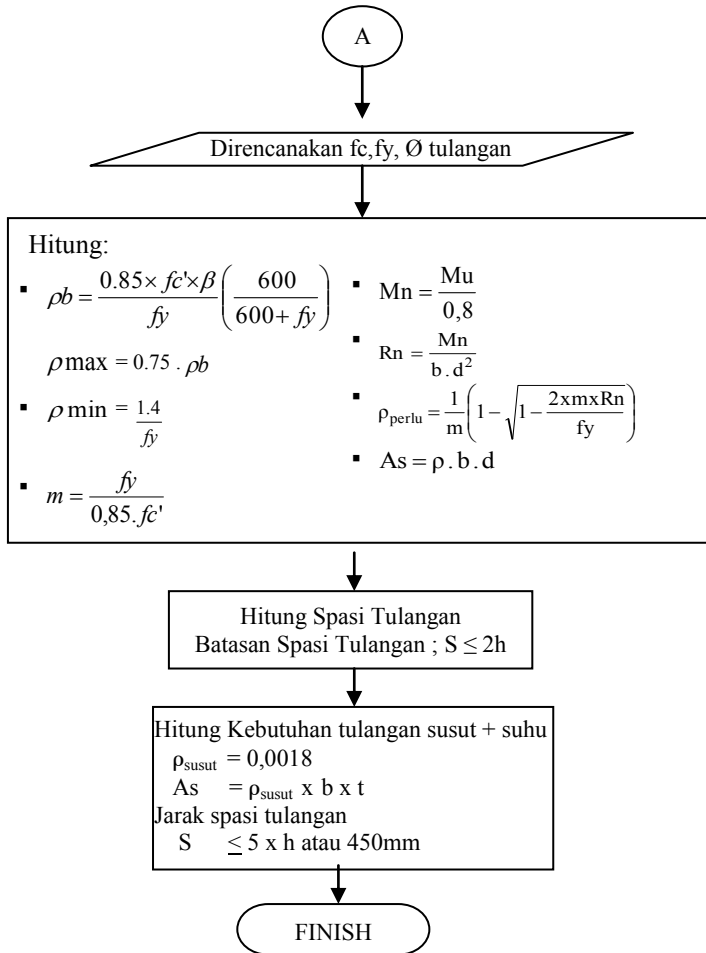
$$U = 1,2 (413) + 1,6 (100)$$

$$= 655,6 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat

Skema perhitungan penulangan pelat adalah sebagai berikut:





### Perhitungan Pelat Lantai

- Data-data perencanaan
  - Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
  - Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 240 Mpa
  - $\beta$  : 0,85

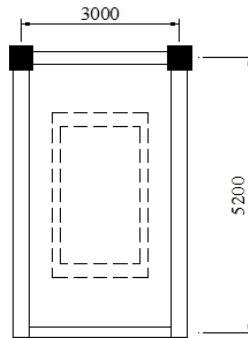
(SNI 03-2847-2002 psl. 12.2.7).(3)

- Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Tebal pelat : 120 mm
- Tebal selimut beton : 20 mm

(SNI 03-2847-2002 *psl. 9.7.1).(c)*)

- D tulangan lentur : 10 mm
- D tulangan susut : 8 mm
- Bentang pelat sb. panjang : 5200 mm
- Bentang pelat sb. pendek : 3000 mm

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (437 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (250 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 924,4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Detail pelat lantai 2 (elv +3,6)

- Perhitungan momen-momen pelat lantai
- Diketahui,

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5,2 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 1,73$$

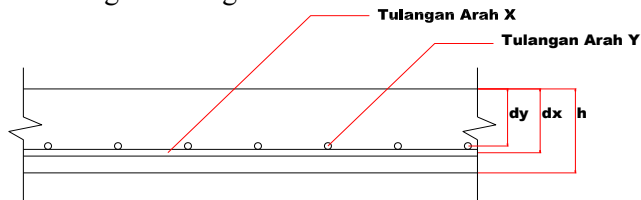
$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_x \\
 &= 0,001 \times 924,4 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 38 \text{ m} \\
 &= 3.161.448 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_y \\
 &= 0,001 \times 924,4 \text{ kg/m}^2 \times (3\text{m})^2 \times 14 \text{ m} \\
 &= 1.164.744 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_x \\
 &= 0,001 \times 924,4 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 81 \text{ m} \\
 &= 6.738.876 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_y \\
 &= 0,001 \times 924,4 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 57 \text{ m} \\
 &= 4.742.172 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Tulangan Pelat Lantai



Gambar 4.4 Tebal Efektif Pelat Lantai

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - t. \text{ selimut} - 0,5 \varnothing \\
 &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= h - t. \text{ selimut} - 0,5 \varnothing - \varnothing \\
 &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) - 10 \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI-03-2847-2002 psl. 12.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{bal} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \left( \frac{600}{600 + 240} \right)}{400} \\
 &= 0,0325 \\
 &\quad (SNI 03-2847-2002 \text{ pasal } 12.3.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \cdot \rho_{bal} \\
 &= 0,75 \cdot 0,0325 \\
 &= 0,024 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68
 \end{aligned}$$

### Penulangan Lapangan

– **Arah X**

$$M_{lx} = 3.161.448 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{3.161.448 \text{ Nmm}}{0,8} = 3.951.810 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{3.951.810 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (94\text{mm})^2} = 0,44$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,44}{400}} \right) \\
 &= 0,00112
 \end{aligned}$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$ , dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &< \rho_{perlu} < \rho_{max} \\
 0,0035 &< 0,00112 < 0,024 \quad \quad \quad \textbf{(Tidak Ok)}
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,00112 = 0,00146$$

Masih  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\min} \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ m} \times 94 \text{ m} \\ &= 329 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (10\text{mm})^2 \times 1000\text{mm}}{329 \text{ mm}^2} \\ &= 238,722 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai S

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 329 \text{ mm}^2$$

– **Arah Y**

$$M_{ly} = 1.164.744 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\Phi} = \frac{1.164.744 \text{ Nmm}}{0,8} = 1.455.930 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{1.455.930 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 82^2} = 0,16$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,16}{400}} \right) \\ &= 0,000413 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,000412 < 0,024 \quad \text{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  Maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,000413 = 0,00053$$

Masih  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\min} \times b \times d_y \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 82 \\ &= 287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$



$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{287 \text{ mm}^2} \\
 &= 273,65 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai  $S$   
 Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\
 &= 392,69 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 287 \text{ mm}^2$$

### Penulangan Tumpuan

– **Arah X**

$$M_{tx} = 6.738.876 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{6.738.876 \text{ Nmm}}{0,8} = 8.423.595 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8.423.595 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (94 \text{ mm})^2} = 0,93$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,93}{400}} \right) \\
 &= 0,00243
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00243 < 0,024 \quad \text{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  Maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,00243 = 0,0031$$

Masih  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\min} \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 94 \text{ mm} \\ &= 329 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{329 \text{ mm}^2} \\ &= 238,72 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai S

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pesang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 329 \text{ mm}^2$$

– **Arah Y**

$$M_{ty} = 4.742.172 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{4.742.172 \text{ Nmm}}{0,8} = 5.927.715 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{5.927.715 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 82^2} = 0,67$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,67}{400}} \right) \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$\rho_{min}$ ,  $\rho_{perlu}$ , dan  $\rho_{max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0017 < 0,024 \quad \textbf{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$  Maka,  $\rho_{perlu}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0017 = 0,0022$$

Masih  $\rho_{min} > \rho_{perlu}$ , maka dipakai  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d_y \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 82 \\ &= 287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

$$S_{max} \leq 2h$$

$$S_{max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{287 \text{ mm}^2} \\ &= 273,65 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S > S_{\max}$  maka dipakai  $S$

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &> A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Tulangan Susut Arah X

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400 dipakai  $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times t. \text{ plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1)

### *Batas Spasi Tulangan Susut*

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{240} \\ &= 209,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai  $S$

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 8 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{susut}}} = 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2$$

#### Tulangan Susut Arah Y

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400 dipakai  $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times t. \text{ plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1)

#### *Batas Spasi Tulangan Susut*

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{240} \\ &= 209,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai  $S$

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 8 - 200$

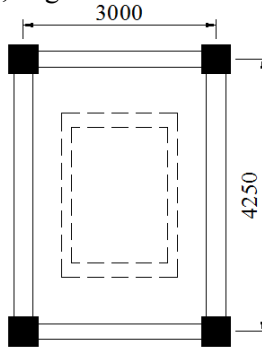
$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{susut}}} = 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2$$

### Perhitungan Pelat Atap

- Data-data perencanaan
  - Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
  - Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 240 Mpa
  - $\beta$  : 0,85  
(SNI 03-2847-2002 psl. 12.2.7).(3)
  - Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
  - Tebal pelat : 120 mm
  - Tebal selimut beton : 20 mm  
(SNI 03-2847-2002 psl. 9.7.1).(c))
  - D tulangan lentur : 10 mm
  - D tulangan susut : 8 mm
  - Bentang pelat sb. panjang : 4250 mm
  - Bentang pelat sb. pendek : 3000 mm

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (413 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (100 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 655,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Detail Pelat Lantai Atap (elv +18,00)

- Perhitungan momen-momen pelat lantai  
Diketahui,

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4,25 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 1,41$$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_x \\
 &= 0,001 \times 655,6 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 45 \text{ m} \\
 &= 2.655.180 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

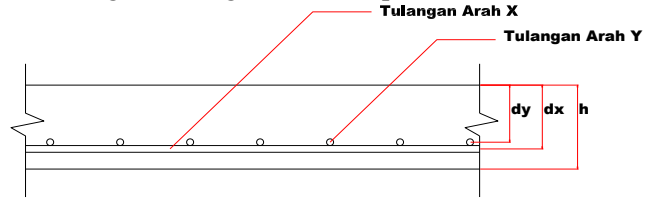
$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_y \\
 &= 0,001 \times 655,6 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 26 \text{ m} \\
 &= 1.534.104 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_x \\
 &= 0,001 \times 655,6 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 98 \text{ m} \\
 &= 5.782.392 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q \times L_x^2 \times X_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,001 \times 655,6 \text{ kg/m}^2 \times (3 \text{ m})^2 \times 77 \text{ m} \\
 &= 4.543.308 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Tulangan Pelat Atap



Gambar 4.6 Tebal Efektif Pelat Atap

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - t. \text{ selimut} - 0,5 \varnothing \\
 &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= h - t. \text{ selimut} - 0,5 \varnothing - \varnothing \\
 &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) - 10 \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI-03-2847-2002 psl. 12.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 10.4.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{bal}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \left( \frac{600}{600 + 240} \right)}{400} \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3)



$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_{\text{bal}} \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

### Penulangan Lapangan

– **Arah X**

$$M_{lx} = 2.655.180 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{2.655.180 \text{ Nmm}}{0,8} = 3.318.975 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{3.318.975 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (95\text{mm})^2} = 0,36$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,36}{400}} \right) \\ &= 0,0009\end{aligned}$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0009 < 0,024 \quad \textbf{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0009 = 0,0012$$

Masih  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\min} \times b \times d_x \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ m} \times 95 \text{ m} \\ &= 332,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan**(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)*

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$ 

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (10\text{m})^2 \times 1000\text{mm}}{332,5 \text{ mm}^2} \\ &= 236,2 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

S < S<sub>max</sub> maka dipakai STulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$ 

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 329 \text{ mm}^2$$

– **Arah Y**

$$M_{ly} = 1.534.104 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\Phi} = \frac{1.534.104 \text{ Nmm}}{0,8} = \text{Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{1.455.930 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 0,21$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,21}{400}} \right) \\ &= 0,00053\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\text{max}}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0,0035 &< 0,00053 < 0,024 \quad \quad \quad \textbf{(Tidak Ok)}\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$  Maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,00053 = 0,00069$$

Masih  $\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\text{min}}$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d_y \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 85 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

$$S_{\text{max}} \leq 2h$$

$$S_{\text{max}} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5 \text{ mm}^2} \\ &= 236,2 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$S < S_{\text{max}}$  maka dipakai S

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\
 &= 392,69 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 287 \text{ mm}^2$$

### Penulangan Tumpuan

– **Arah X**

$$M_{\text{tx}} = 5.782.392 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{5.782.392 \text{ Nmm}}{0,8} = \text{Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8.423.595 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (95 \text{ mm})^2} = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,8}{400}} \right) \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\text{max}}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,002 < 0,024 \quad \textbf{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$  Maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,00243 = 0,0026$$

Masih  $\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\text{min}}$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d_x$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0035 \times 1000 \text{ m} \times 95 \text{ m} \\
 &= 332,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

*(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)*

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times (10\text{mm})^2 \times 1000\text{mm}}{332,5 \text{ mm}^2} \\
 &= 236,2 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai  $S$

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pesang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\
 &= 392,69 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} > A_{S_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 329 \text{ mm}^2$$

– **Arah Y**

$$M_{ty} = 4.543.308 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{4.543.308 \text{ Nmm}}{0,8} = \text{Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{5.927.715 \text{ Nmm}}{1000 \cdot 85^2} = 0,62$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,62}{400}} \right) \\ &= 0,0015 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\text{perlu}}$ , dan  $\rho_{\max}$  harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0015 < 0,024 \quad \textbf{(Tidak Ok)}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  Maka,  $\rho_{\text{perlu}}$  perlu dinaikkan 30%  
 $1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0015 = 0,002$

Masih  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \times b \times d_y \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 85 \\ &= 332,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

*Batas Spasi Tulangan*

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 15.3.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5 \text{ mm}^2} \\ &= 236,2 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S > S_{\max}$  maka dipakai  $S$   
 Tulangan yang dipakai  $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,69 \text{ mm}^2 \\ A_{s_{\text{pasang}}} &> A_{s_{\text{perlu}}} = 392,69 \text{ mm}^2 > 287 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### Tulangan Susut Arah X

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400 dipakai  $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times t. \text{ plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1)

#### *Batas Spasi Tulangan Susut*

$$S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{240} \\ &= 209,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\max}$  maka dipakai  $S$

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 8 - 200$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{susut}}} = 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2$$

### Tulangan Susut Arah Y

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau jaring kawat las (polos atau ulir) mutu 400 dipakai  $\rho_{\text{susut}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times t. \text{ plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.1)

### *Batas Spasi Tulangan Susut*

$$S_{\text{max}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

(SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2.2)

Dipakai tulangan  $\varnothing 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \varphi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{240} \\ &= 209,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S < S_{\text{max}}$  maka dipakai S

Tulangan yang dipakai  $\varnothing 8 - 200$



$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{200} \\
 &= 251,2 \text{ mm}^2 \\
 A_{s_{\text{pakai}}} &> A_{s_{\text{susut}}} = 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### **Kontrol lendutan**

1. Karena tebal yang digunakan lebih besar dari tebal minimum, maka lendutan tidak perlu dikontrol. (*SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3.4*)

- Pada pelat lantai, didapatkan tulangan sebagai berikut:

#### **Tulangan utama**

Tumpuan arah X	= Ø 10 – 200 mm
Tumpuan arah Y	= Ø 10 – 200 mm
Lapangan arah X	= Ø 10 – 200 mm
Lapangan arah Y	= Ø 10 – 200 mm

#### **Tulangan susut**

Tumpuan arah X	= Ø 8 – 200 mm
Tumpuan arah Y	= Ø 8 – 200 mm

- Pada pelat atap, didapatkan tulangan sebagai berikut:

#### **Tulangan utama**

Tumpuan arah X	= Ø 10 – 200 mm
Tumpuan arah Y	= Ø 10 – 200 mm
Lapangan arah X	= Ø 10 – 200 mm
Lapangan arah Y	= Ø 10 – 200 mm

#### **Tulangan susut**

Tumpuan arah X	= Ø 8 – 200 mm
Tumpuan arah Y	= Ø 8 – 200 mm

### 4.3 Perhitungan Tangga

Tangga merupakan bagian dari elemen konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antara lantai satu dengan lantai yang lain. Tangga merupakan elemen penting yang harus ada pada bangunan bertingkat, baik sebagai tangga utama maupun tangga darurat.

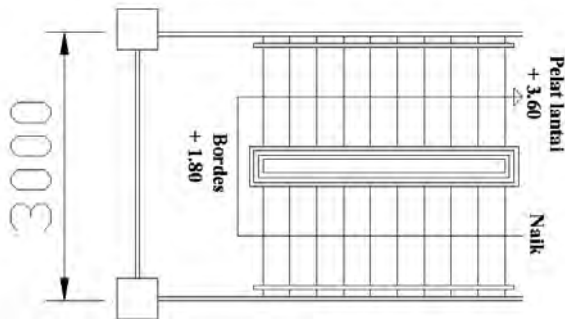
Dalam perencanaan ini, karena elevasi tiap lantai mempunyai ketinggian dan ukuran yang sama (satu tipe tangga), maka perencanaan tangga dihitung dalam satu perhitungan.

#### 4.3.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Berikut akan dibahas perencanaan dimensi dan penulangan tangga tipe 1. Adapun data-data, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan menggunakan metode SRPMM, perhitungan dan hasil akhir gambar tangga dan bordes adalah sebagai berikut :

⇒ Data-data perencanaan

Tipe tangga	: 1
Panjang datar tangga	: 425 cm
Tinggi tangga	: 360 cm
Tinggi pelat bordes	: 180 cm
Tebal rencana pelat tangga	: 12 cm
Tebal rencana pelat bordes	: 12 cm
Lebar injakan (i)	: 30 cm
Tinggi tanjakan (t)	: 18 cm



Gambar 4.7 Denah Tangga Tipe 1

⇒ Perhitungan perencanaan  
Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}\alpha &= \arctan \frac{t}{i} \\ &= \arctan \frac{18}{30} \\ &= 30,96^\circ \approx 31^\circ\end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 31^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \text{memenuhi}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}nt &= \frac{\text{tinggi tangga}}{t} \\ &= \frac{360}{18} \\ &= 20 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned}ni &= nt - 1 \\ &= 20 - 1 \\ &= 19\end{aligned}$$

Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga, maka :

$$\begin{aligned}
 L\Delta_1 &= L\Delta_2 \\
 \frac{1}{2} \times i \times t &= \frac{1}{2} \times \left( \sqrt{i^2 + t^2} \right) \times d \\
 \frac{1}{2} \times 30 \times 18 &= \frac{1}{2} \times \left( \sqrt{30^2 + 18^2} \right) \times d \\
 270 &= 17,49 \times d \\
 d &= 15,43 \text{ cm} \\
 \frac{1}{2} \times d &= 7,71 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka Tebal Efektif Pelat Tangga = 12 + 7,71 = 19,71 cm

**4.3.2 Pembebanan Tangga****Beban yang bekerja pada anak tangga**Beban mati (DL)

Berat spesi (t=2 cm)	= 2x21 kg/m <sup>2</sup>	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Berat keramik (t=1 cm)	= 1x24 kg/m <sup>2</sup>	= 24 kg/m <sup>2</sup>
Berat railing tangga	= 10 kg/m <sup>2</sup>	= 10 kg/m <sup>2</sup>
qDL total		= 76 kg/m <sup>2</sup>

Beban hidup (LL)

Beban hidup pada tangga adalah 300 kg/m<sup>2</sup>

Beban Ultimate (qU)

qU = 1,2 DL + 1,6 LL → diinput ke SAP

**Beban yang bekerja pada bordes**Beban mati (DL)

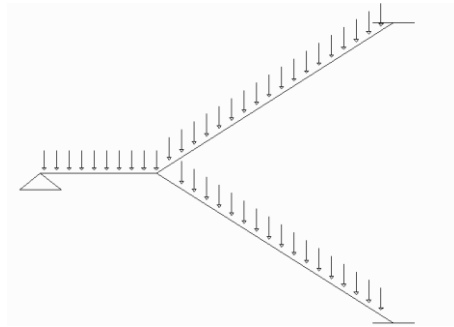
Berat spesi (t=2 cm)	= 2x21 kg/m <sup>2</sup>	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Berat keramik (t=1 cm)	= 1x24 kg/m <sup>2</sup>	= 24 kg/m <sup>2</sup>
Berat railing tangga	= 10 kg/m <sup>2</sup>	= 10 kg/m <sup>2</sup>
qDL total		= 76 kg/m <sup>2</sup>

Beban hidup (LL)

Beban hidup pada tangga adalah  $300 \text{ kg/m}^2$

Beban Ultimate (qU)

$qU = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \rightarrow$  diinput ke SAP



Gambar 4.8 Permodelan Tangga

#### 4.3.3 Penulangan Pelat Tangga

Dalam contoh perhitungan penulangan pelat ini, tipe tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai 1 dan lantai 2.

1) Adapun data perencanaan sebagai berikut :

Tipe pelat	: Pelat tangga
Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 MPa
$\beta$	: 0,85
Tebal pelat	: 12 cm
Tebal selimut beton	: 20 mm
Diameter tulangan lentur	: 12 mm
Diameter tulangan susut	: 12 mm

Tebal manfaat pelat :

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 197,1 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 171,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 197,1 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 159,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0325 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

#### ❖ TULANGAN ARAH Y (arah memanjang)

Diambil momen akibat dari kombinasi : 1,2 D + 1,6 LL

$$M_{11} = 26.593.000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{26.593.000}{0,8} = 33.241.250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{33.241.250}{1000 \cdot 171,1^2} = 1,13$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,68) \cdot 1,13}{300}} \right) \\ &= 0,0029\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0029 < 0,024 \rightarrow (NOT OK)$   
 maka dipakai  $\rho_{\min}$ .

$$\begin{aligned}As_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0029 \times 1000 \times 171,1 \\ &= 598,85 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan  $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$   
 $S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$

Maka dipakai tulangan  $\emptyset 12$

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{As} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{598,85} \\ &= 188,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

$S = 188,85 \text{ mm} < 240 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  **$\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$**

$$\begin{aligned}As_{\text{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{150} \\ &= 753,97 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 598,85 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

❖ **TULANGAN ARAH X (arah melintang)**

Diambil momen akibat dari kombinasi :1,2 D + 1,6 LL

$$M_{22} = 31.446.500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{31.446.500}{0,8} = 39.308.125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{39.308.125}{1000 \cdot 171,1^2} = 1,34$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,68) \cdot 1,34}{300}} \right) \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0034 < 0,024 \rightarrow (NOT OK) \end{aligned}$$

maka dipakai  $\rho_{\min}$ .

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 171,1 \\ &= 598,85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan  $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan  $\emptyset 12$



$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{598,85} \\
 &= 177,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 177,79 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai  $\phi$  12 – 150mm

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{150} \\
 &= 753,97 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 753,97 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

2) Adapun data perencanaan sebagai berikut :

Tipe pelat	: Pelat bordes
Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 MPa
$\beta$	: 0,85
Tebal pelat	: 15 cm
Tebal selimut beton	: 20 mm
Diameter tulangan lentur	: 12 mm
Diameter tulangan susut	: 12 mm

Tebal manfaat pelat :

$$\begin{aligned}
 d_y &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\
 &= 124 \text{ mm} \\
 d_x &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\
 &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0325 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

❖ **TULANGAN ARAH Y (arah memanjang)**

Diambil momen akibat dari kombinasi :  $1,2 D + 1,6 LL$

$$M_{11} = 27.160.100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{27.160.100}{0,8} = 33.950.125 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{33.950.125}{1000 \cdot 124^2} = 2,207$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,68) \cdot 2,207}{300}} \right) \\ &= 0,0057\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0057 < 0,024 \rightarrow (OK)$   
 maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  .

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0057 \times 1000 \times 124 \\
 &= 716,99 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan  $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$   
 $S_{\max} = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Maka dipakai tulangan  $\emptyset 12$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{716,99} \\
 &= 157,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S = 157,73 \text{ mm} < 300 \text{ mm} (OK) \rightarrow S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  **$\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{150} \\
 &= 753,97 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 716,99 \text{ mm}^2 \rightarrow (OK)
 \end{aligned}$$

#### ❖ TULANGAN ARAH X (arah melintang)

Diambil momen akibat dari kombinasi :  $1,2 D + 1,6 LL$

$$M_{22} = 33.813.600 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{33.813.600}{0,8} = 42.267.000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{42.267.000}{1000 \cdot 124^2} = 2,74$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,68) \cdot 2,74}{300}} \right) \\ &= 0,0072\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0072 < 0,024 \rightarrow (OK)$   
 maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$ .

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0072 \times 1000 \times 171,1 \\ &= 903,82 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan  $\rightarrow S_{\text{maks}} \leq 2h$   
 $S_{\text{maks}} = 2 \cdot 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

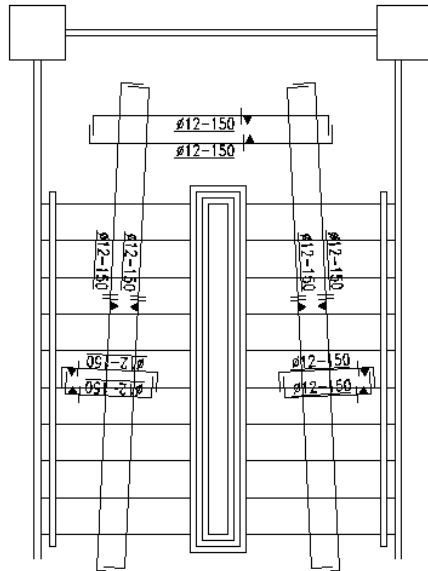
Maka dipakai tulangan  $\emptyset 12$

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{903,82} \\ &= 125,13 \text{ mm}\end{aligned}$$

$S = 125,13 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)} \rightarrow S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai  **$\emptyset 12 - 100 \text{ mm}$**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 12^2 \times 1000}{100} \\
 &= 1130,97 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 1130,97 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Penulangan Tangga

#### 4.4. Perhitungan Struktur Atap

Atap sebagai bagian dari struktur bangunan yang berada pada posisi atas, harus mampu mentransfer beban dan gaya, yang berubah akibat hujan dan atau angin, ke struktur yang berada di bawahnya. Karena secara langsung, atap akan berhubungan dengan cuaca. Dalam hal ini angin dan hujan bahkan salju pada daerah dengan iklim empat musim.

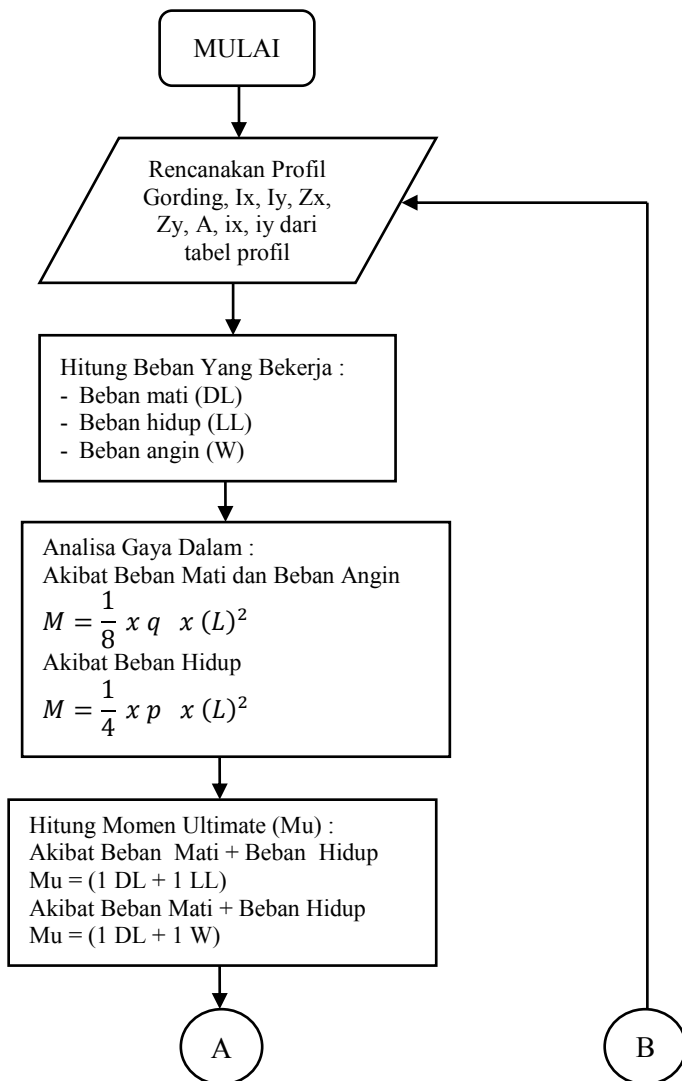
Gedung Rusunawa Sidotopo Surabaya ini direncanakan menggunakan struktur rangka batang baja, dengan model atap berbentuk pelana.

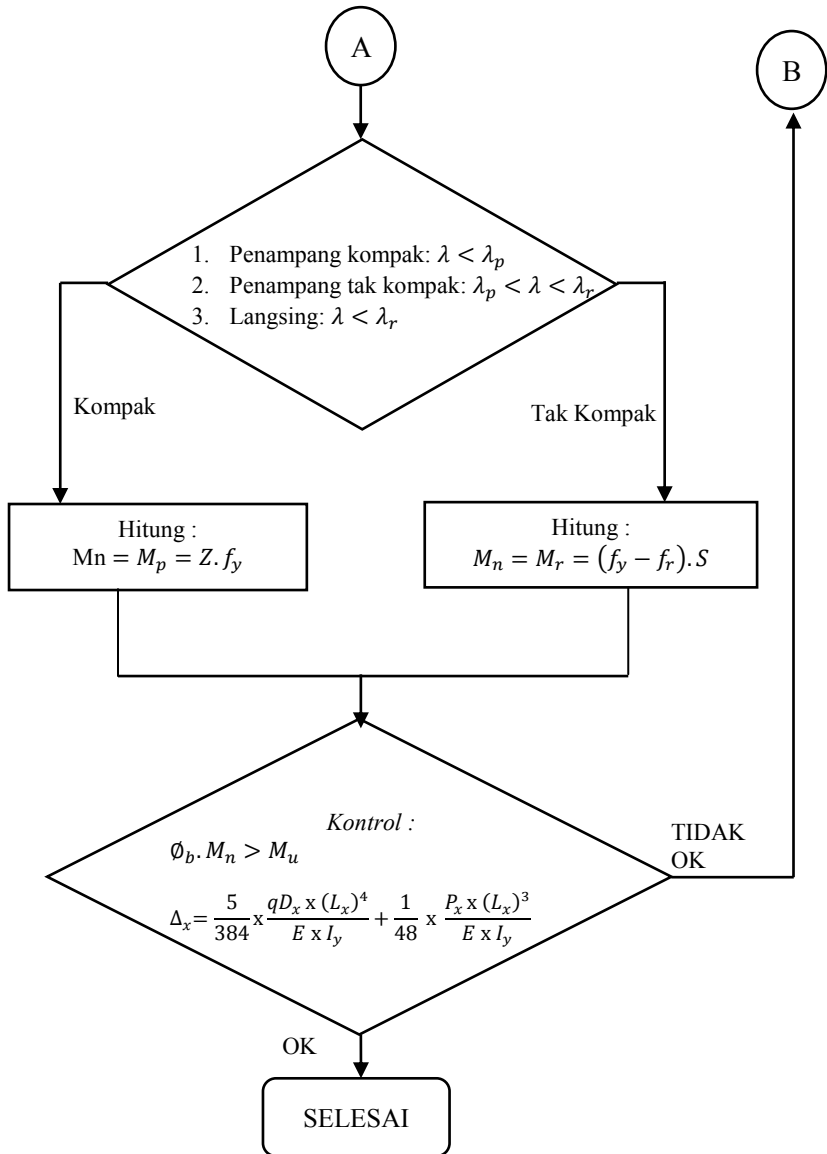
##### 4.4.1 Data-data Perencanaan

Model atap	: Pelana
Bahan kuda-kuda	: Profil Baja WF
Mutu baja yang digunakan	: BJ 37
Tegangan leleh baja ( $f_y$ )	: 240 MPa
Tegangan putus baja ( $f_u$ )	: 370 MPa
Tegangan ijin baja	: 1600 kg/cm <sup>2</sup>
Profil gording	: Light Lip Channel
Bahan penutup atap	: Genteng
Berat penutup atap	: 50 kg/m <sup>2</sup>
Bentang kuda-kuda	: 15,8 m
Jarak antar kuda-kuda	: 3 m
Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ )	: 30°
Beban angin rencana	: kg/m <sup>2</sup>
Penggantung gording	: 2 buah

#### 4.4.2 Perhitungan Gording

*Skema perhitungan gording :*

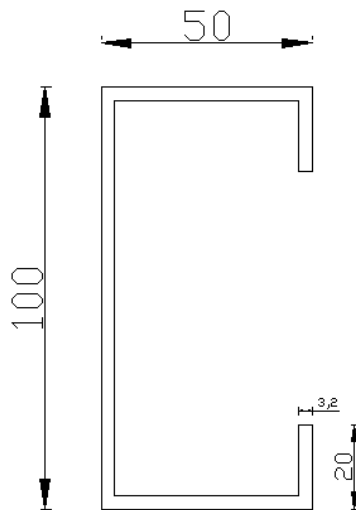






Gording adalah komponen struktur atap yang berfungsi sebagai penghubung antara satu kuda-kuda dengan kuda-kuda yang lain. Gording yang digunakan adalah profil baja *light lip channels*. Dibawah ini adalah perhitungan perencanaan gording.

❖ **Direncanakan profil gording LLC 100.50.20.3,2**



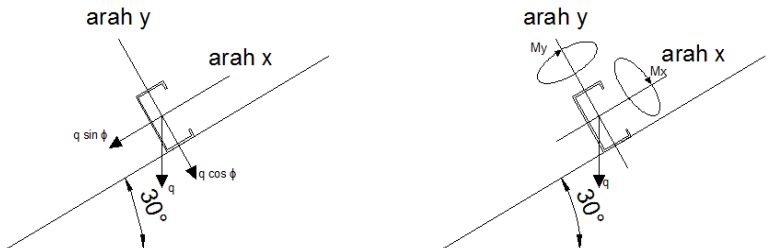
Gambar 4.10 Gording Profil LLC 100.50.20.3,2

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Sendiri profil (q)	: 3,25 kg/m
Momen Inersia (Ix)	: 37,1 cm <sup>4</sup>
Momen Inersia (Iy)	: 11,8 cm <sup>4</sup>
Section Modulus (Zx)	: 9,9 cm <sup>3</sup>
Section Modulus (Zy)	: 4,24 cm <sup>3</sup>
Section Area (A)	: cm <sup>2</sup>
Radius (ix)	: cm
Radius (iy)	: cm

### ❖ Pembebanan pada gording

Beban yang mengenai atap arahnya tegak lurus terhadap sudut kemiringan atap, sehingga untuk perhitungannya diperlukan nilai resultan. Berikut adalah arah permisalan gaya pada gording.



Gambar 4.11 Proyeksi Gaya Yang Bekerja Pada Gording

**Arah x** adalah arah yang sejajar dengan kemiringan atap, sedangkan **arah y** adalah arah yang tegak lurus terhadap sudut kemiringan atap. Dalam perhitungan gording ini, digunakan asumsi bahwa  **$M_x$**  adalah momen yang terjadi akibat beban dari **arah x**, serta momen ini bekerja tegak lurus **sumbu x** dan mengitari **sumbu y**. Sebaliknya,  **$M_y$**  adalah momen yang terjadi akibat beban dari **arah y**, serta momen ini bekerja tegak lurus **sumbu y** dan mengitari **sumbu x**.

Berikut adalah beban-beban yang bekerja pada gording :

#### 1. Beban Mati (DL)

Berat sendiri profil = 5,5 kg/m

Berat penutup atap :

$$50 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} = \frac{75 \text{ kg/m}}{80,5 \text{ kg/m}}$$

Berat lain-lain diasumsikan 10% dari beban mati yang terjadi.

$$10\% \times 80,5 \text{ kg/m} = \frac{8,05 \text{ kg/m}}{qD \text{ total}} = 88,55 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah } x &= qdx = qD \text{ total} \times \sin \alpha \\ &= 88,55 \times \sin 30^\circ = 44,28 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah } y &= qdy = qD \text{ total} \times \cos \alpha \\ &= 88,55 \times \cos 30^\circ = 76,69 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

## 2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup yang bekerja pada gording terdiri dari :

### a. Beban Hidup Akibat Pelaksanaan (P)

Beban pekerja = 100 kg

[PPIUG 1983, Pasal 3.2.(2)b]

$$\text{Arah } x = Px = 100 \text{ kg} \times \sin 30^\circ = 50 \text{ kg}$$

$$\text{Arah } y = Py = 100 \text{ kg} \times \cos 30^\circ = 86,6 \text{ kg}$$

### b. Beban Air Hujan (W)

Beban air hujan akan menumpu sesuai luasan atap. Beban maksimum air hujan tidak boleh lebih dari  $20 \text{ kg/m}^2$  dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atap lebih besar  $50^\circ$ .

$$W = 40 - 0,8\alpha < 20 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 40 - 0,8 \times 30^\circ$$

$$W = 16 \text{ kg/m}^2$$

$$qL = W \times l$$

$$= 16 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} = 24 \text{ kg/m}$$

Dipakai

$$W = 20 \text{ kg/m}$$

[PPIUG 1983, Pasal 3.2.(2)a]

Maka beban air hujan :

$$\begin{aligned}\text{Arah } x (q_x) &= q_L \sin \alpha \\ &= 20 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ = 15 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

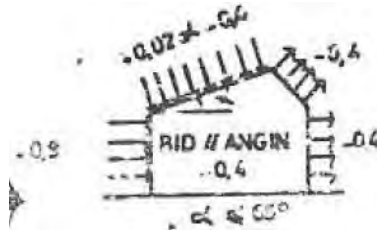
$$\begin{aligned}\text{Arah } y (q_y) &= q_L \cos \alpha \\ &= 20 \text{ kg/m} \times \cos 30^\circ = 25,98 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat, beban pekerja lebih besar dari beban air hujan, maka yang perlu diperhitungkan adalah beban pekerja.

### 3. Beban Angin

Bangunan Gedung Rusunawa Sidotopo Surabaya, berdasarkan **PPIUG 1983 pasal 4.2.(2)**, maka nilai rencana tekanan tiup angin diambil  $40 \text{ kg/m}^2$ .

Koefisien angin menurut **PPIUG 1983 pasal 4.3 ayat 1** pada gedung tertutup dengan sudut kemiringan atap  $\alpha \leq 65^\circ$  adalah sebagai berikut :



Gambar 4.12 Koefisien Angin

Dari gambar di atas, dapat diketahui koefisien angin :

$$\text{Koefisien } W \text{ tekan } 1 = 0,02\alpha - 0,4$$

$$\begin{aligned}W \text{ tekan } 1 &= (0,02 \cdot (30) - 0,4) \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 12 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Arah } x = 12 \text{ kg/m} \cdot \sin 30^\circ = 6 \text{ kg}$$

$$\text{Arah } y = 12 \text{ kg/m} \cdot \cos 30^\circ = 10,39 \text{ kg}$$

$$\text{Koefisien } W \text{ hisap } 2 = -0,4$$

$$\begin{aligned} W \text{ hisap } 2 &= -0,4 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= -24 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

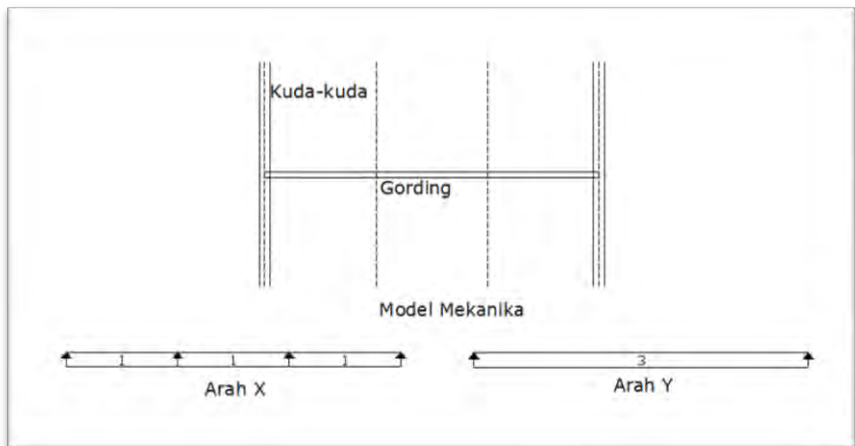
$$\text{Arah } x = -24 \text{ kg/m} \cdot \sin 30^\circ = -12 \text{ kg/m}$$

$$\text{Arah } y = -24 \text{ kg/m} \cdot \cos 30^\circ = -20,78 \text{ kg/m}$$

Dari hasil perhitungan beban angin tersebut, maka untuk perencanaan gording diambil nilai beban angin terbesar yaitu  $q_x = 12 \text{ kg/m}$  dan  $q_y = 20,78 \text{ kg/m}$ .

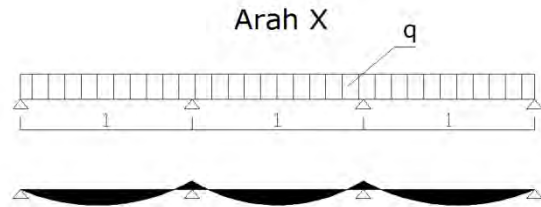
❖ **Analisa gaya dalam (momen) yang bekerja pada gording**

Untuk memperkecil nilai lendutan pada arah x gording, maka dipasang penggantung gording. Pada perhitungan ini, direncanakan dipasang penggantung gording sejumlah 2 buah.



Gambar 4.13 Model Mekanika Gording

### Momen Arah X



Gambar 4.14 Gaya Momen Beban Merata Arah X

#### 1. Momen Akibat Beban Mati

$$M_x = \frac{1}{8} x q_{Dx} x (L/3)^2$$

$$M_x = \frac{1}{8} x 44,28 x (3/3)^2$$

$$M_x = 5,53 \text{ kgm}$$

#### 2. Momen Akibat Beban Hidup

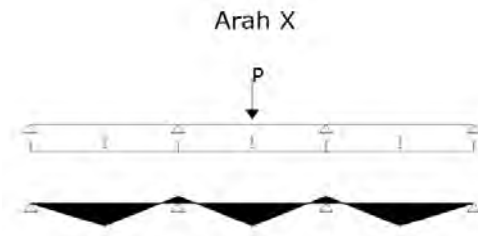
- Beban Merata

$$M_x = \frac{1}{8} x q_{Lx} x (L/3)^2$$

$$M_x = \frac{1}{8} x 15 x (3/3)^2$$

$$M_x = 1,88 \text{ kgm}$$

- Beban Terpusat



Gambar 4.15 Gaya Momen Beban Terpusat Arah X

$$M_x = \frac{1}{4} x P_{Lx} x (L/3)^2$$

$$M_x = \frac{1}{4} x 50 x (3/3)^2$$

$$M_x = 12,5 \text{ kgm}$$

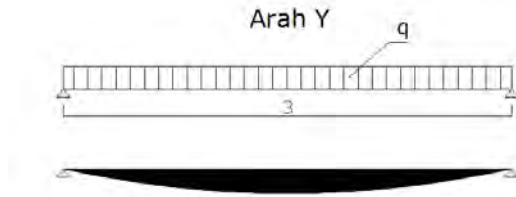
3. Momen Akibat Beban Angin

$$M_x = \frac{1}{8} x q_{Lx} x (L/3)^2$$

$$M_x = \frac{1}{8} x 12 x (3/3)^2$$

$$M_x = 0,94 \text{ kgm}$$

### Momen Arah Y



Gambar 4.16 Gaya Momen Beban Merata Arah Y

#### 1. Momen Akibat Beban Mati

$$M_y = \frac{1}{8} x q_{Ly} x (L)^2$$

$$M_y = \frac{1}{8} x 76,69 x (3)^2$$

$$M_y = 82,27 \text{ kgm}$$

#### 2. Momen Akibat Beban Hidup

- Beban Merata

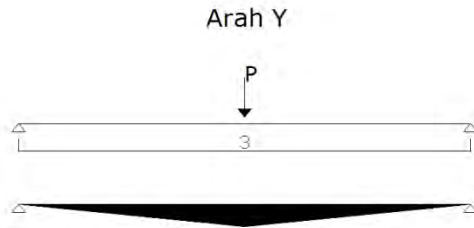
$$M_y = \frac{1}{8} x q_{Ly} x (L)^2$$

$$M_y = \frac{1}{8} x 25,98 x (3)^2$$

$$M_y = 29,23 \text{ kgm}$$



- Beban Terpusat



Gambar 4.17 Gaya Momen Beban Terpusat Arah Y

$$M_y = \frac{1}{4} x P_{Ly} x (L)^2$$

$$M_y = \frac{1}{4} x 86,6 x (3)^2$$

$$M_y = 62,19 \text{ kgm}$$

3. Momen Akibat Beban Angin

$$M_y = \frac{1}{8} x q_{wy} x (L)^2$$

$$M_y = \frac{1}{8} x 20,78 x (3)^2$$

$$M_y = 23,38 \text{ kgm}$$

❖ Kombinasi Pembebanan

1. 1 DL + 1 LL

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (1 \times 5,53 \text{ kgm}) + (1 \times 12,5 \text{ kgm}) \\ &= 18 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{uy} = (1 \times 82,27 \text{ kgm}) + (1 \times 62,19 \text{ kgm})$$

$$= 144 \text{ kgm}$$

2. 1D + 1 W

$$\begin{aligned} \text{Mux} &= (1 \times 5,53 \text{ kgm}) + (1 \times 1,5 \text{ kgm}) \\ &= 4,03 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Muy} &= (1 \times 82,2 \text{ kgm}) + (1 \times 23,38 \text{ kgm}) \\ &= 58,9 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas telah diketahui bahwa Mux terbesar = 18,03 kgm, dan Muy terbesar adalah = 144,46 kgm.

Gording merupakan suatu balok yang menerima beban lentur. Menurut *SNI 03-1729-2002 pasal 8.1* tahanan balok terlentur harus memenuhi persyaratan :

$$\phi_b \cdot M_n > M_u$$

Dengan :  $\phi_b = 0,9$

$M_n$  = tahanan momen nominal

$M_u$  = momen lentur

#### ❖ Kontrol profil gording

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak, dan langsing. Adapun batasan penampang kompak, tak kompak, dan langsing adalah :

1. Penampang kompak :  $\lambda < \lambda_p$
2. Penampang tak kompak :  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Langsing :  $\lambda < \lambda_r$

Tahanan nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak adalah :

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y$$

Dengan :

$M_n = M_p$  = tahanan momen plastis

$Z$  = modulus plastis

$f_y$  = kuat leleh

Sedangkan tahanan nominal pada saat  $\lambda = \lambda_r$  adalah :

$$M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S$$

Dengan :

$f_y$  = tahanan leleh

$f_r$  = tegangan sisa (penampang gilas panas  
= 70 MPa, penampang dilas = 115 MPa)

$S$  = modulus penampang

Cek kelangsingan penampang (profil LLC 100.50.20.3,2) :

$$\lambda_f = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{50}{2 \cdot 3,2} = 7,8125$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{100}{3,2} = 31,25$$

Berdasarkan **SNI 03-1729-2002**, syarat penampang kompak tidak boleh melebihi :

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97 \rightarrow \text{untuk sayap}$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44 \rightarrow \text{untuk badan}$$

$$\lambda_f < \lambda_p \rightarrow 7,8125 < 10,97 \text{ (memenuhi)}$$

$$\lambda_w < \lambda_p \rightarrow 31,25 < 108,44 \text{ (memenuhi)}$$

Dapat disimpulkan bahwa penampang tersebut termasuk **penampang kompak**, maka :

1. Momen arah x

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= Z_x \cdot f_y = 25,4 \text{ cm} \cdot (2400 \text{ kg/cm}) \\
 &= 60960 \text{ kgcm} \\
 &= 609,6 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Momen arah y

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= Z_y \cdot f_y = 25,4 \text{ cm} \cdot (2400 \text{ kg/cm}) \\
 &= 21912 \text{ kgcm} \\
 &= 219,12 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan syarat balok terlentur :

1. Momen arah x

$$\begin{aligned}
 \phi_b \cdot M_{nx} &> M_{ux} \\
 0,9 \cdot 609,6 \text{ kgm} &> 18,03 \text{ kgm} \\
 548,64 \text{ kgm} &> 18,03 \text{ kgm} \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

2. Momen arah y

$$\begin{aligned}
 \phi_b \cdot M_{ny} &> M_{uy} \\
 0,9 \cdot 219,12 \text{ kgm} &> 144,46 \text{ kgm} \\
 197,208 \text{ kgm} &> 144,46 \text{ kgm} \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

### **Kontrol tegangan**

$$\begin{aligned}
 &= \frac{M_{ux}}{Z_x} + \frac{M_{uy}}{Z_y} \leq \text{ijin} \\
 &= \frac{1803}{25,4} + \frac{144,46}{9,13} \leq 1600 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$= 1563,26 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1563,26 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow OK$$

### **Kontrol Lendutan**

Kontrol lendutan adalah menganalisa lendutan yang terjadi, apakah lendutan maksimum yang terjadi melebihi dari batas lendutan maksimum yang diijinkan atau tidak. Batas-batas lendutan untuk

keadaan kemampuan layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum menurut ***SNI 03-1729-2002 pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1*** adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Batas Lendutan Maksimum

<b>Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor</b>	<b>Beban tetap</b>	<b>Beban sementara</b>
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok Biasa	L/240	-
Kolom dengan analisa orde pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/500	h/200

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{300}{240} = 3 \text{ cm}$$

a. Besar Lendutan Arah X ( $\Delta_x$ )

$$\Delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{qD_x \times (L_x)^4}{E \times I_y} + \frac{1}{48} \times \frac{P_x \times (L_x)^3}{E \times I_y}$$

Di mana :

$\Delta_x$  = lendutan arah x (cm)

$qD_x$  = beban mati arah sumbu x (kg/cm)

$L_x$  = bentang arah sumbu x (cm)

$E$  =  $2,1 \times 10^6$  (kg/cm<sup>2</sup>)

$I_x$  = momen kelembaman pada sumbu x profil

$P_x$  = beban hidup arah sumbu x (kg)

sehingga,

$$\Delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{0,044 \times (100)^4}{2 \times 10^6 \times 28,7} + \frac{1}{48} \times \frac{50 \times (100)^3}{2 \times 10^6 \times 28,7}$$

$$= 0,01 + 0,018 = 0,028$$

b. Besar Lendutan Arah Y ( $\Delta_y$ )

$$\Delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{qD_y \times (L_y)^4}{E \times I_x} + \frac{1}{48} \times \frac{P_y \times (L_y)^3}{E \times I_x}$$

Di mana :

$\Delta_y$  = lendutan arah y (cm)

$qD_y$  = beban mati arah sumbu y (kg/cm)

$L_y$  = bentang arah sumbu y (cm)

$E$  =  $2,1 \times 10^6$  (kg/cm<sup>2</sup>)

$I_y$  = momen kelembaman pada sumbu y profil

$P_y$  = beban hidup arah sumbu y (kg)

sehingga,

$$\Delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{0,7669 \times (300)^4}{2 \times 10^6 \times 127} + \frac{1}{48} \times \frac{86,6 \times (300)^3}{2 \times 10^6 \times 127}$$

$$= 0,318 + 0,192 = 0,51$$

c. Besar Resultan Lendutan Arah X ( $\Delta_x$ ) dan Lendutan Arah Y ( $\Delta_y$ )

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{(0,028)^2 + (0,51)^2}$$

$$= 0,51 \text{ cm}$$

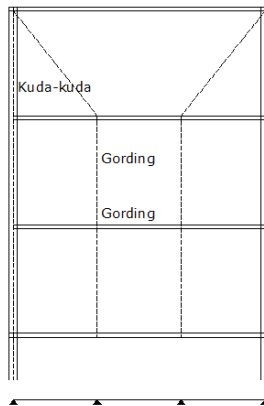
$$0,52\text{cm} < \Delta_{ijin} = 1,25\text{cm}$$

$\rightarrow$  *syarat lendutan memenuhi*

Maka, dalam perencanaan struktur atap Gedung Rusunawa sidotopo Surabaya digunakan gording dengan dimensi **LLC 100.50.20.3,2**.

#### 4.4.3 Perhitungan Penggantung Gording

Penggantung Gording dipasang sebagai penguat sumbu lemah. Dalam hal ini, sumbu lemah gording adalah sumbu y. Maka dipasang penggantung gording yang tegak lurus dengan sumbu y, yaitu sumbu x untuk memperkuat penampang gording saat menerima beban searah sumbu y. Perhitungan berikut memakai 2 penggantung gording dengan jarak antar penggantung gording 1 m seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.18 Posisi Penggantung Gording

#### ❖ Analisis pembebanan

Berikut adalah beban-beban yang bekerja pada penggantung gording :

1. Beban Mati (DL)

Berat sendiri profil = 5,5 kg/m

Berat penutup atap :

$$50 \text{ kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m} = \frac{75 \text{ kg/m} + 80,5 \text{ kg/m}}{80,5 \text{ kg/m}}$$

Berat lain-lain diasumsikan 10% dari beban mati yang terjadi

$$10\% \times 80,5 \text{ kg/m} = \frac{8,05 \text{ kg/m} +}{\text{qD total}} = 88,55 \text{ kg/m}$$

Karena beban

Arah x = qdx = qDtotal x sin α x lebar efektif

gording yang membebani penggantung

$$\text{qdx} = 88,55 \text{ kg/m} \times \sin 30^\circ \times 1 \text{ m}$$

$$\text{qdx} = 44,275 \text{ kg}$$

jumlah gording yang harus dipasang ada 8 batang sehingga :

$$\text{qdx total} = w \times n$$

$$= 44,275 \times 8$$

$$= 354,2 \text{ kg}$$

## 2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup pekerja (P) = 100 kg

Arah x = Px = P x sin α

$$\text{Px} = 100 \text{ kg} \times \sin 30^\circ$$

$$\text{Px} = 50 \text{ kg}$$

Asumsi pekerja yang bekerja diatas atap 4 orang

$$\text{Px total} = w \times n$$

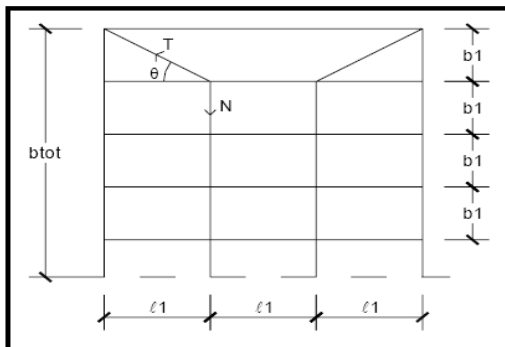
$$= 50 \times 4$$

$$= 200 \text{ kg}$$

Maka, beban total tiap 1 gording (w) adalah jumlah beban mati ditambah beban hidup.



$$\begin{aligned}
 w &= qdx + Px \\
 &= 354,2 \text{ kg} + 200 \text{ kg} \\
 w &= 554,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.19 Gaya Yang Bekerja Pada Gording

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha &= \frac{1,5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \\
 \alpha &= \arctan \frac{1,5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \\
 \alpha &= 56,31^\circ
 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya penggantung gording (T)

$$\sum V = 0$$

$$T \sin \alpha - W = 0$$

$$T = \frac{W}{\sin \alpha}$$

$$T = \frac{554,2 \text{ kg}}{\sin 56,31^\circ}$$

$$T = 666,1 \text{ kg}$$

Penentuan dimensi

- Kuat leleh

$$P_u = \phi_f y \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi_f y}$$

$$A_g = \frac{666,1}{0,9 \times 2400}$$

$$A_g = 0,308 \text{ cm}$$

- Kuat putus

$$P_u = 0,75 \times \phi_t f_u \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,75 \times \phi_t f_u}$$

$$A_g = \frac{666,1}{0,75 \times 0,75 \times 3700}$$

$$A_g = 0,32 \text{ cm}$$

$$\text{Dipakai } A_g = 0,32$$

$$d = \frac{\sqrt{4 + 0,32}}{22/7}$$

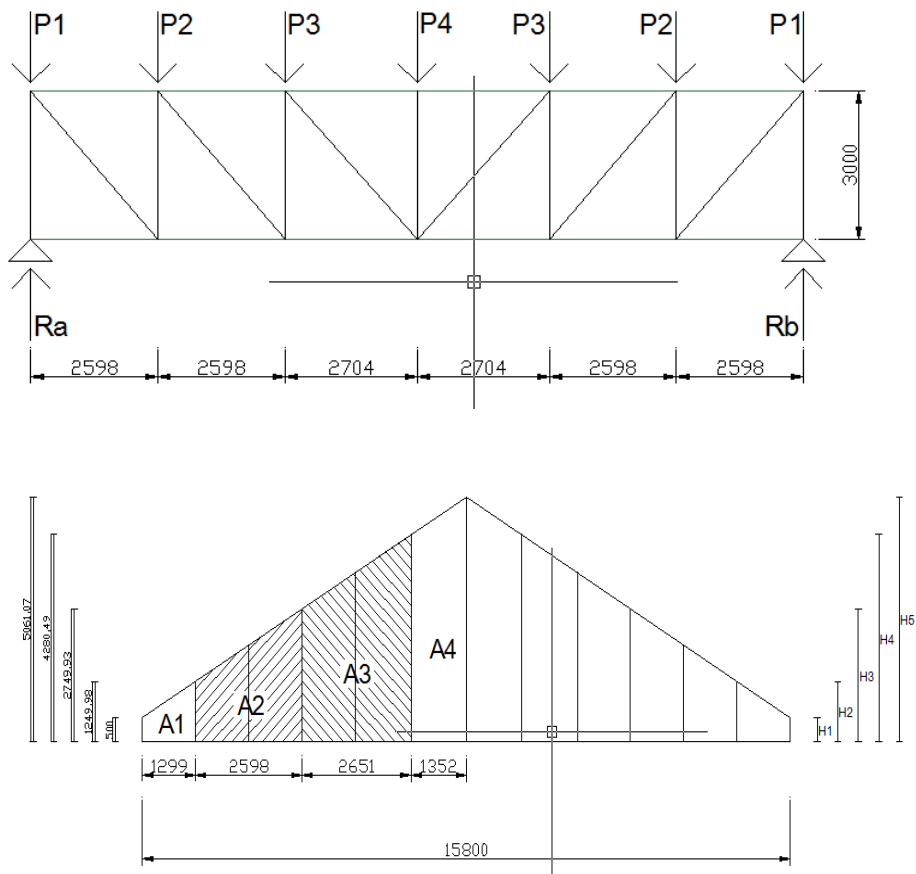
$$= 0,64 \text{ cm} = 6,4 \text{ mm}$$

Dipakai batang bulat dengan diameter 10 mm

Maka, dalam perencanaan struktur atap Gedung Rusunawa Sidotopo Surabaya digunakan penggantung gording dengan dimensi **Ø 10 mm**

#### 4.4.4 Perhitungan Ikatan Angin

Ikatan angin pada atap berfungsi untuk menahan beban angin yang mengenai dinding tepi bangunan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan dari kuda-kuda itu sendiri. Dalam perhitungan ini, ikatan angin dianggap sebagai pengaku, sehingga hanya dihitung kelangsingannya saja.



Gambar 4.20 Gaya-Gaya Pada Ikatan Angin

Data-data perhitungan ikatan angin rangka atap kaku adalah sebagai berikut :

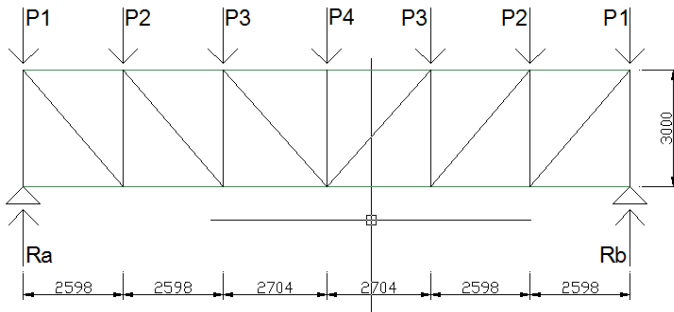
Jarak antar gording = 1,5 m

Jarak antar kuda-kuda = 3 m

Sudut kemiringan atap ( $\beta$ ) =  $30^\circ$

$$\text{Beban angin (qA)} = 40 \text{ kg/m}^2$$

[PPIUG 1983, Pasal 4.2.(1)]



Gambar 4.21 Bidang Kerja Ikatan Angin

Jarak datar gording (t)

Jarak datar gording : (b=t)

$$b1 = 1,299 \text{ m}$$

$$b2 = 2,598 \text{ m}$$

$$b3 = 2,651 \text{ m}$$

$$b4 = 1,352 \text{ m}$$

Perhitungan tinggi bidang arsiran :

$$H1 = 0,5 \text{ m (tinggi kolom pendek)}$$

$$H2 = H1 + (\tan 30^\circ \times b1) = 1,249 \text{ m}$$

$$H3 = H2 + (\tan 30^\circ \times b2) = 2,749 \text{ m}$$

$$H4 = H3 + (\tan 30^\circ \times b3) = 4,28 \text{ m}$$

$$H5 = H4 + (\tan 30^\circ \times b4) = 5,061 \text{ m}$$

Perhitungan luas trapesium (bagian yang tertekan angin)

$$A = \frac{\Sigma \text{ sisi sejajar}}{2} \times t$$

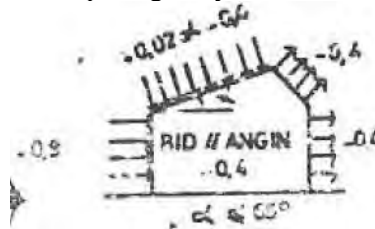
$$A_1 = \frac{H1 + H2}{2} \times b1$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,5 \text{ m} + 1,249\text{m}}{2} \times 1,299\text{m} = 1,136 \text{ m}^2 \\
 A_2 &= \frac{H_2 + H_3}{2} \times b_2 \\
 &= \frac{1,249\text{m} + 2,749\text{m}}{2} \times 2,598 \text{ m} = 5,2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_3 &= \frac{H_3 + H_4}{2} \times b_3 \\
 &= \frac{2,749\text{m} + 4,28\text{m}}{2} \times 2,651\text{m} \\
 &= 9,3164 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_4 &= \frac{H_4 + H_5}{2} \times b_4 \\
 &= \frac{4,28\text{m} + 5,061\text{m}}{2} \times 1,352\text{m} \\
 &= 6,3145 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dalam hal ini Bangunan Gedung Rusunawa Sidotopo Surabaya memiliki atap dengan  $\alpha \leq 30^\circ$ . Berdasarkan **PPIUG 1983, Pasal 4.3.(1)**, koefisien angin (c) yang terjadi dibagi dalam beberapa bagian, yaitu :



Gambar 4.22 Koefisien Angin

Perhitungan beban-beban pada ikatan angin (P):

$$P = A \times q \times c$$

Dimana :

A = Luas bidang tinjau

q = Tekanan angin (40 kg/m<sup>2</sup>)

c = Koefisien angin (0,4)

$$\begin{aligned} P1 &= A1 \times q \times c \\ &= 1,136 \text{ m}^2 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 0,4 = 18,176 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= A2 \times q \times c \\ &= 5,1934 \text{ m}^2 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 0,4 = 83,094 \text{ kg} \end{aligned}$$

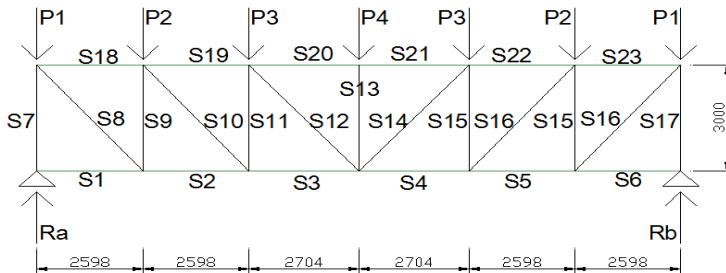
$$\begin{aligned} P3 &= A3 \times q \times c \\ &= 9,3169 \text{ m}^2 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 0,4 = 149,07 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P4 &= A4 \times q \times c \\ &= 6,3145 \text{ m}^2 \times 40 \text{ kg/m}^2 \times 0,4 = 101,03 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perencanaan konstruksi dan pembebanan adalah simetris, maka reaksi perletakan yang didapatkan adalah :

$$\begin{aligned} RA &= RB \\ &= \frac{2P1 + 2P2 + 2P3 + P4}{2} \\ &= \frac{(2.18,176 \text{ kg}) + (2.83,094 \text{ kg}) + (2.149,07 \text{ kg}) + (101,03 \text{ kg})}{2} \\ &= \frac{601,71}{2} \\ &= 300,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan gaya-gaya batang pada tiap joint :



$$\sum M_B = 0$$

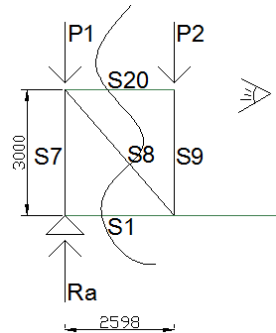
$$S_{20} \cdot 3 - P_1 \cdot 2,598 + R_a \cdot 2,598 = 0$$

$$S_{20} \cdot 3 = 18,176 \cdot 2,598 - 294,83 \cdot 2,598$$

$$S_{20} = (-718,74)/3$$

$$S_{20} = -239,58 \text{ kg}$$

$$S_{20} = 239,58 \text{ kg (tekan)}$$



$$\sum M_H = 0$$

$$- S_1 \cdot 3 = 0$$

$$S_1 = 0$$

$$\sum V = 0$$

$$- S_8 \cdot \sin \alpha - P_1 + R_a = 0$$

$$- S_8 \sin 40,89256 - 18,176 + 294,83 = 0$$

$$S_8 = 276,654 / \sin 40,89256$$

$$S_8 = 422,625 \text{ kg (tarik)}$$

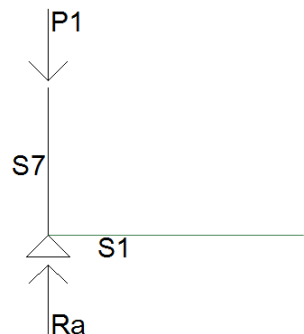
$$\sum V = 0$$

$$S_7 - P_1 + R_a = 0$$

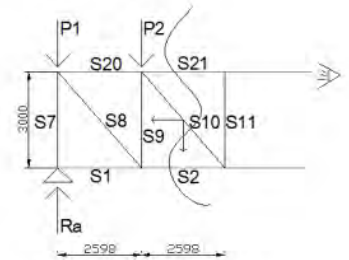
$$S_7 - 18,176 + 294,83 = 0$$

$$S_7 = -276,654 \text{ kg}$$

$$S_7 = 276,654 \text{ kg (tekan)}$$



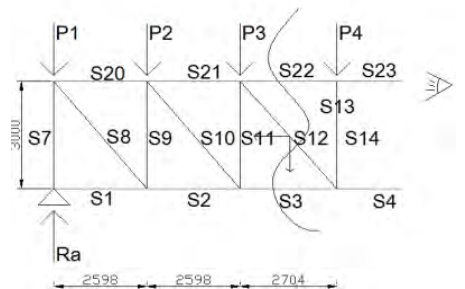
$$\begin{aligned}
 \sum MC &= 0 \\
 S21.3 - P2.2,598 - P1.(2.2,598) + \\
 Ra.(2.2,598) &= 0 \\
 S21.3 - 83,094.2,598 - 18,176. \\
 (2.2,598) + 294,83.(2.2,598) &= 0 \\
 S21 &= (215,87+94,44-1531,94)/3 \\
 S21 &= -614,08 \text{ kg} \\
 S21 &= 614,08 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \sum MN &= 0 \\
 -S2.3 - P1.2,598 + R4.2,598 &= 0 \\
 -S2.3 - 18,176.2,598 + 294,83.2,598 &= 0 \\
 S2 &= (-47,22 + 765,97)/3 \\
 S2 &= 239,58 \text{ kg (tarik)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum V &= 0 \\
 -S10.\sin\alpha - P1 - P2 + Ra &= 0 \\
 S10.\sin 40,89256 - 18,176 - 83,094 + 294,83 &= 0 \\
 S10 &= (-193,56)/\sin 40,89256 \\
 S10 &= -295,69 \text{ kg} \\
 S10 &= 295,69 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum MD &= 0 \\
 S22.3 - P3.2,704 - P2. \\
 (2,704+2,598) - P1.(2,704+2.2,598) \\
 + Ra.(2,704+2.2,598) &= 0 \\
 S22.3 - 149,07.2,704 - 83,094 \\
 .(2,704+2,598) - 18,176. \\
 (2,704+2.2,598) + 294,83 \\
 .(2,704+2.2,598) &= 0 \\
 S22 &= -1341,9/3 \\
 S22 &= -447,3 \text{ kg} \\
 S22 &= 447,3 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



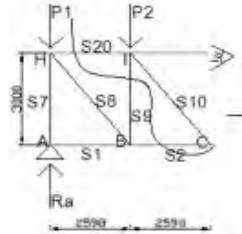
$$\sum ML = 0$$



$$\begin{aligned}
 & -S3.3 - P2.2,598 - P1.(2.2,598) + Ra.(2.2,598) = 0 \\
 & -S3.3 - 83,094.2,598 - 18,176.(2.2,598) \\
 & + 294,83.(2.2,598) = 0 \\
 & S3 = 407,2 \text{ kg (tarik)}
 \end{aligned}$$

$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned}
 & -S12. \sin \alpha - P1 - P2 - P3 + Ra = 0 \\
 & -S12. \sin 42,02939 - 18,176 - 83,094 - 149,07 + 294,83 = 0 \\
 & S12 = 44,49 / \sin 42,02939 \\
 & S12 = 66,49 \text{ kg (tarik)}
 \end{aligned}$$

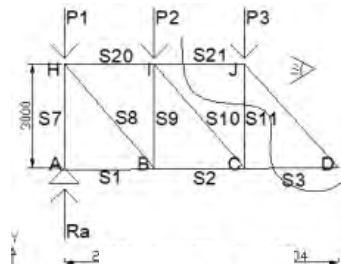


$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned}
 & S9 - P1 + Ra = 0 \\
 & S9 - 18,176 + 294,83 = 0 \\
 & S9 = -276,654 \text{ kg} \\
 & S9 = 276,654 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$

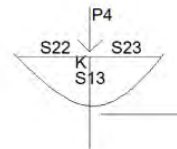
$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned}
 & S11 - P1 - P2 + Ra = 0 \\
 & S11 - 18,176 - 83,094 + 294,83 = 0 \\
 & S11 = -193,56 \text{ kg} \\
 & S11 = 193,56 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



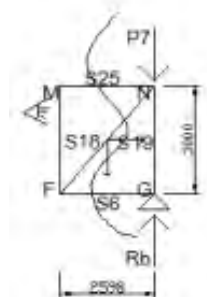
$$\sum V = 0$$

$$\begin{aligned}
 & -S13 - P4 = 0 \\
 & S13 = -101,03 - 50,516 \text{ kg} \\
 & S13 = -151,546 \text{ kg} \\
 & S13 = 151,546 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



$$\sum MF = 0$$

$$\begin{aligned}
 & -S25.3 + P7.2,598 - Rb.2,598 = 0 \\
 & S25.3 = 9,0878.2,598 - 232,218.2,598 \\
 & S25 = (-688,4)/3 \\
 & S25 = -222,8 \text{ kg} \\
 & S25 = 222,8 \text{ kg (tekan)}
 \end{aligned}$$



$$\sum MN = 0$$

$$- S6.3 = 0$$

$$S6 = 0$$

$$\sum V = 0$$

$$- S18.\sin\alpha - P7 + Rb = 0$$

$$- S18 \sin 40,89256 - 9,0878 + 232,218 = 0$$

$$S18 = 223,1312/\sin 40,89256$$

$$S18 = 340,86 \text{ kg (tarik)}$$

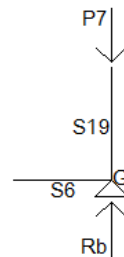
$$\sum V = 0$$

$$S19 - P7 + Rb = 0$$

$$S19 - 9,0878 + 232,218 = 0$$

$$S19 = -223,13 \text{ kg}$$

$$S19 = 223,13 \text{ kg (tekan)}$$



$$\sum ME = 0$$

$$- S24.3 + P6.2,598 + P7.(2.2,598) - Rb.(2.2,598) = 0$$

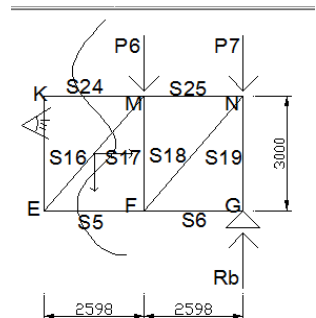
$$S24.3 - 41,55.2,598 - 9,0878.$$

$$(2.2,598) + 232,218.(2.2,598) = 0$$

$$S24 = (107,94 + 47,22 - 1206,92)/3$$

$$S24 = -350,58 \text{ kg}$$

$$S24 = 350,58 \text{ kg (tekan)}$$



$$\sum MM = 0$$

$$S5.3 + P7.2,598 - Rb.2,598 = 0$$

$$S5.3 - 9,0878.2,598 + 232,218.2,598 = 0$$

$$S5 = (-579,69)/3$$

$$S5 = -193,23 \text{ kg}$$

$$S5 = 193,23 \text{ kg (tekan)}$$

$$\sum V = 0$$

$$- S16 \cdot \sin \alpha - P7 - P6 + Rb = 0$$

$$S16 \cdot \sin 40,89256 - 9,0878 - 41,55 + 232,218 = 0$$

$$S16 = (-181,58) / \sin 40,89256$$

$$S16 = -277,38 \text{ kg}$$

$$S16 = 277,38 \text{ (tekan)}$$

$$\sum MD = 0$$

$$- S23 \cdot 3 + P5 \cdot 2,704 + P6 \cdot$$

$$(2,704 + 2,598) + P7 \cdot (2,704 + 2,2,598)$$

$$- Rb \cdot (2,704 + 2,2,598) = 0$$

$$- S22 \cdot 3 + 74,535 \cdot 2,704 + 41,55$$

$$\cdot (2,704 + 2,598) + 9,0878 \cdot$$

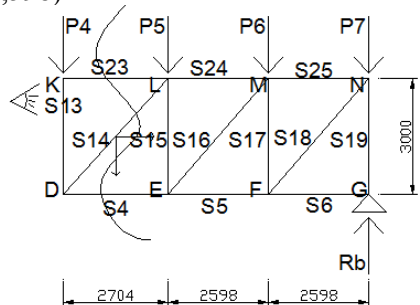
$$(2,704 + 2,2,598) - 232,218$$

$$\cdot (2,704 + 2,2,598) = 0$$

$$S23 = -1340,89/3$$

$$S23 = -446,96 \text{ kg}$$

$$S23 = 446,96 \text{ kg (tekan)}$$



$$\sum ML = 0$$

$$S4 \cdot 3 + P6 \cdot 2,598 + P7 \cdot (2,2,598) + Rb \cdot (2,2,598) = 0$$

$$S4 \cdot 3 + 41,55 \cdot 2,598 + 9,0878 \cdot (2,2,598)$$

$$+ 232,218 \cdot (2,2,598) = 0$$

$$S4 = -453,92 \text{ kg}$$

$$S4 = 453,92 \text{ kg (tekan)}$$

$$\sum V = 0$$

$$- S14 \cdot \sin \alpha - P7 - P6 - P5 + Rb = 0$$

$$- S14 \cdot \sin 42,02939 - 9,0878 - 41,55 - 74,535 + 232,218 = 0$$

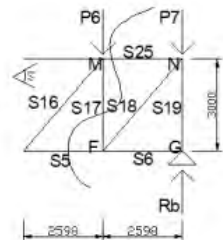
$$S14 = 107,05 / \sin 42,02939$$

$$S14 = 159,97 \text{ kg (tarik)}$$

$$\sum V = 0$$

$$S17 - P7 + Rb = 0$$

$$S17 - 9,0878 + 232,218 = 0$$



$$S17 = -233,13 \text{ kg}$$

$$S17 = 233,13 \text{ kg (tekan)}$$

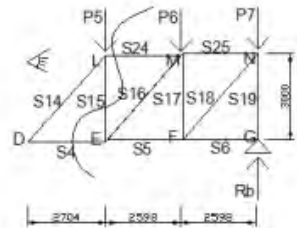
$$\Sigma V = 0$$

$$S15 - P6 - P7 + Rb = 0$$

$$S15 - 41,55 - 9,0878 + 232,218 =$$

$$S15 = -181,64 \text{ kg}$$

$$S15 = 181,64 \text{ kg (tekan)}$$



Gaya batang maksimum terletak pada S21 = 614,08 kg

Jadi  $P_u = 614,08 \text{ kg}$

#### Perhitungan dimensi ikatan angin :

Penentuan dimensi

- Kuat leleh

$$P_u = \phi \times f_y \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi \times f_y}$$

$$A_g = \frac{614,08}{0,9 \times 2400}$$

$$A_g = 0,284 \text{ cm}$$

- Kuat putus

$$P_u = 0,75 \times \phi \times f_u \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,75 \times \phi \times f_u}$$

$$A_g = \frac{614,08}{0,75 \times 0,75 \times 3700}$$

$$A_g = \frac{614,08}{0,75 \times 0,75 \times 3700}$$

$$A_g = 0,295$$

$$\text{Dipakai } A_g = 0,295$$

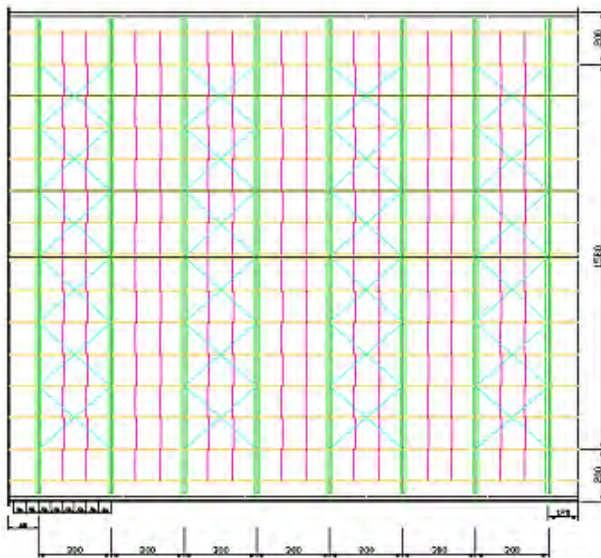
$$d = \frac{\sqrt{4 + 0,295}}{22/7}$$

$$= 0,612 \text{ cm} = 6,12 \text{ mm}$$

Maka, dalam perencanaan struktur atap Gedung Rusunawa Sidotopo digunakan ikatan angin dengan dimensi **Ø 12 mm**.

#### 4.4.5 Kontrol Stabilitas Kuda – Kuda

Rangka kuda-kuda yang digunakan pada proyek pembangunan gedung Rusunawa Sidotopo adalah rangka kaku. Dimana elemen penyusunnya adalah baja WF yang disambung menggunakan media pelat serta alat sambung baut dan las. Berikut ini adalah gambar denah penempatan kuda-kuda .



Gambar 4.23 Denah kuda-kuda

## ❖ Data Perencanaan profil kuda-kuda (WF 150.100.6. 9)

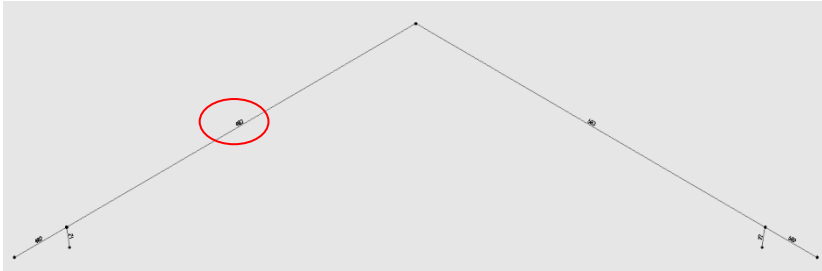
$A = 26,84 \text{ cm}^2$	$f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = 1020 \text{ cm}^4$	$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$
$I_y = 151 \text{ cm}^4$	$f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$
$Z_x = S_x = 138 \text{ cm}^3$	$L_x = 9120 \text{ cm}$
$Z_y = S_y = 30,1 \text{ cm}^3$	$L_y = 9120 \text{ cm}$
$r = 11 \text{ mm}$	$k_c = 0,5 \text{ (jepit - jepit)}$
$h = (d - 2(tf + r))$	$i_x = 6,17 \text{ cm}$
$= (150 - 2(9 + 11))$	$i_y = 2,37 \text{ cm}$
$= 110 \text{ mm}$	

Data Output SAP 2000 (Frame 403)

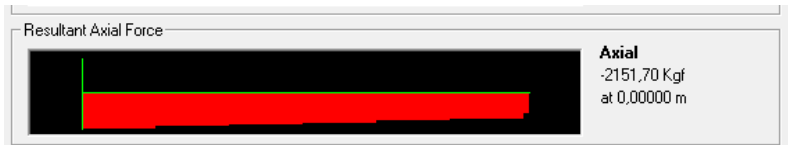
Akibat kombinasi 1,2DL + 1,3W + 0,5La



Gambar 4.24 Pemodelan Kuda-Kuda



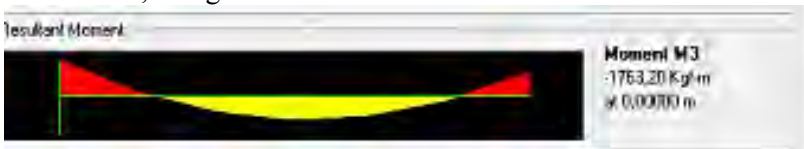
Gambar 4.25 Frame 403 yang Ditinjau



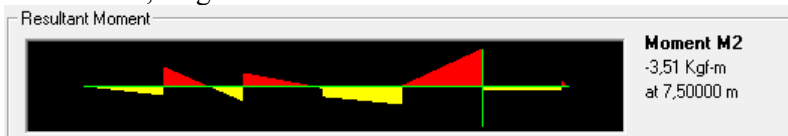
$$P_u = 2151,7 \text{ Kg}$$



$$V_u = 1024,29 \text{ Kg}$$



$$M_{ux} = 1763,2 \text{ Kg.m}$$



$$M_{uy} = 3,51 \text{ Kg.m}$$

## a. Kontrol Kelangsingan Kuda – Kuda

- Ditinjau terhadap sayap (flens)

$$\frac{b/2}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{100/2}{9} < \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$5,55 < 10,97 \rightarrow (\text{Penampang Kompak})$$

- Ditinjau terhadap badan (Web)

$$\frac{h}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{110}{6} < \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$18,33 < 108,44 \rightarrow (\text{Penampang Kompak})$$

Karena Penampang Kompak, Maka  $M_n = M_p$   
(SNI 03-2847-2002, Pasal 7.6.4)

$$\lambda = \frac{L_k}{i_x} \rightarrow L_k = k c . L$$

$$\lambda_x = \frac{k c . L_x}{i_x} = \frac{0,5 . 912 \text{ cm}}{6,17 \text{ cm}} = 73,91$$

$$\lambda_y = \frac{k c . L_y}{i_y} = \frac{0,5 . 912 \text{ cm}}{2,37 \text{ cm}} = 192,405 \rightarrow (\text{menentukan})$$

Maka yang digunakan dalam perhitungan ,  $\lambda_{pakai} = 192,405$  sehingga :

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_c = \frac{192,405}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ kg/cm}^2}{2000000 \text{ kg/cm}^2}} = 2,12$$

Maka didapatkan koefisien faktor tekuk struktur sebagai berikut :

$$\lambda_c > 1,2 \rightarrow \omega = 1,25 \times \lambda^2$$

$$1,39 > 1,2 \rightarrow \omega = 1,25 \times (2,12^2) = 5,62$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 7.6.2)

## b. Momen Nominal Kuda – Kuda Akibat Tekuk Lokal



$$\begin{aligned}
 Z_x &= b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2 \cdot t_f)^2 \\
 &= 150 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm} \cdot (150 \text{ mm} - 9 \text{ mm}) + \frac{1}{4} \cdot 6 \\
 &\text{ mm} \cdot (150 \text{ mm} - 2 \cdot 9 \text{ mm})^2 \\
 &= 153036 \text{ mm}^3 = 153,036 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_y &= \frac{1}{2} \cdot t_f \cdot b^2 + \frac{1}{4} (d - 2 \cdot t_f) t_w^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 9 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2 + \frac{1}{4} (150 \text{ mm} - 2 \cdot 9 \\
 &\text{ mm}) (6 \text{ mm})^2 \\
 &= 46188 \text{ mm}^3 = 46,188 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= M_{px} = Z_x \cdot f_y \\
 &= 153,036 \text{ cm}^3 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 367286 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= M_{py} = Z_y \cdot f_y \\
 &= 46,188 \text{ cm}^3 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 110851 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Kuat Tekan Penampang Kuda – Kuda

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{A_g \cdot f_y}{\omega} \\
 &= \frac{26,84 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2}{5,621} = 11458,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 0,85 \cdot 11458,3 \text{ kg} = 9739,52 \text{ kg}$$

Cek Syarat :

$$P_u < \phi P_n$$

$$2151,7 \text{ kg} < 9739,52 \text{ kg} \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{2151,7 \text{ kg}}{9739,52 \text{ kg}} = 0,22$$

$$\text{Bila } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2 \rightarrow 0,22 \geq 0,2$$

maka digunakan persamaan interaksi sebagai berikut:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3)

$$\frac{2151,7 \text{ kg}}{9739,52 \text{ kg}} + \frac{8}{9} \left( \frac{176320 \text{ kgcm}}{0,9.367286 \text{ kgcm}} + \frac{351 \text{ kgcm}}{0,9.110851 \text{ kgcm}} \right) \leq 1,0$$

$0,7 \leq 1,0 \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$

d. Kontrol Lateral Buckling Penampang Kuda – Kuda

L adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan. Jadi dalam hal ini adalah jarak antar gording.

$$L = 150 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \sqrt{\frac{I_y}{A}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \sqrt{\frac{151 \text{ cm}^4}{26,84 \text{ cm}^2}} \cdot \sqrt{\frac{2000000 \text{ kg/cm}^2}{2400 \text{ kg/cm}^2}} = 1,2$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ Mpa} = 8 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 153,036 \text{ cm}^3 = 153036 \text{ mm}^3$$

$$J = \frac{1}{3} \times b \times t^3 + \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3$$

$$= \frac{1}{3} \times 150 \text{ mm} \times (6 \text{ mm})^3 + \frac{1}{3} \times 100 \text{ mm} \times (9 \text{ mm})^3$$

$$= 35100 \text{ mm}^4$$

$$I_w = \frac{I_y \cdot h^2}{4} = \frac{151000 \text{ mm}^4 \cdot (110 \text{ mm})^2}{4} = 4,57 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$h = 110 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$$

$$A = 2684 \text{ mm}^2$$

$$f_l = f_y - f_r$$

$$= 2400 \text{ kg/cm} - 700 \text{ kg/cm}^2 = 170 \text{ N/mm}^2$$

$$X_1 = \frac{\pi}{s} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\pi}{153.036 \text{ mm}^3} \cdot \sqrt{\frac{\frac{2000000 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{80000 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot 35100 \text{ mm}^4 \cdot 2684 \text{ mm}^2}{2}} \\
&= 17828,75 \text{ N/mm}^2 \\
X_2 &= 4 \cdot \left( \frac{S}{G \cdot J} \cdot \frac{I_w}{I_y} \right) \\
&= 4 \cdot \left( \frac{153036 \text{ mm}^3}{800000 \text{ N/mm}^2 \cdot 35100 \text{ mm}^4} \cdot \frac{4,57 \cdot 10^9 \text{ mm}^6}{151000 \text{ mm}^4} \right) \\
&= 0,000036 \text{ N/mm}^2 \\
L_r &= r_y \cdot \left( \frac{X_1}{f_l} \right) \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_l^2}} \\
&= \\
&23,72 \text{ mm} \cdot \left( \frac{17828,75 \text{ N/mm}^2}{170 \text{ N/mm}^2} \right) \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,000036 \text{ N/mm}^2 \cdot (170 \text{ N/mm}^2)^2}} \\
&= 3875,9 \text{ mm} = 3,88 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$L_p < L < L_r \rightarrow 1,21 \text{ m} < 1,5 \text{ m} < 3,88 \text{ m} \rightarrow (\text{Bentang Menengah})$$

Karena batang kuda-kuda termasuk bentang menengah, maka nilai  $M_n$  dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_n = C_b \cdot \left\{ M_r + (M_p - M_r) \cdot \frac{(L_r - L)}{(L_r - L)} \right\} \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} < 2,3$$

$$= \frac{12,5 \cdot 1055 \text{ kgm}}{2,5 \cdot 1055 \text{ kgm} + 3 \cdot 231,92 \text{ kgm} + 4 \cdot 1055,22 + 3 \cdot 495,57 \text{ kgm}} < 2,3$$

$$= 1,02 < 2,3 \rightarrow (\text{dipakai } C_b = 1,02)$$

Maka Momen nominal Kuda – Kuda akibat tekuk lokal:

$$\begin{aligned}
M_p &= Z_x \cdot f_y \\
&= 153036 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \\
&= 36728640 \text{ Nmm} = 3672,864 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_r &= S_x \cdot (f_y - f_r) \\
&= 153036 \text{ mm}^3 \cdot (240 \text{ N/mm}^2 - 70 \text{ N/mm}^2)
\end{aligned}$$

$$= 26016120 \text{ Nmm} = 2601,61 \text{ kgm}$$

$$M_n = C_b \cdot \left\{ M_r + (M_p - M_r) \cdot \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right\} \leq M_p$$

$$M_n =$$

$$1,02 \cdot \left\{ 2601,61 \text{ kgm} + \frac{3672,86 \text{ kgm} - 2601,61 \text{ kgm} \cdot 3,88 \text{ m} - 1,5 \text{ m} \cdot 3,88 \text{ m} - 1,21 \text{ m}}{3,88 \text{ m} - 1,21 \text{ m}} \right\} \leq 3672,86 \text{ kgm}$$

$$= 3625,7 \text{ kgm} \leq 3672,86 \text{ kgm} \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

e. Kontrol Geser Penampang Kuda – Kuda

$$\frac{h}{t_w} < \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{110}{6} < \frac{1100}{\sqrt{240}}$$

$$18,3 < 71 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2 \cdot 21,47 \text{ cm}^2$$

$$= 30919,68 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 30919,68 \text{ kg}$$

$$= 27827,7 \text{ kg}$$

Cek syarat :

$$V_u < \phi V_n \rightarrow 1024,29 \text{ kg} < 27827,7 \text{ kg} \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

f. Kontrol Lendutan Penampang Kuda – Kuda

$$\overline{\Delta L} = \frac{L}{240} = \frac{912 \text{ cm}}{240} = 3,8 \text{ cm}$$

## Output SAP 2000



$$\Delta L^{\circ} = 0,0306m = 3,0597 \text{ cm}$$

Cek syarat :

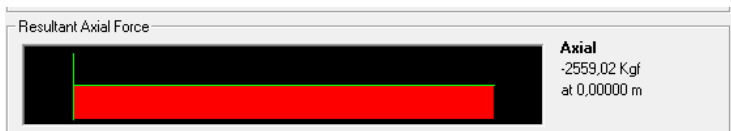
$$\Delta L^{\circ} < \overline{\Delta L} \rightarrow 3,0597 \text{ cm} < 3,8 \text{ cm} \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

#### 4.4.6 Kontrol Stabilitas Kolom Pendek

Kolom adalah salah satu elemen penyusun struktur yang sangat penting dimana ada beberapa fungsi yaitu sebagai kerangka struktur dan sebagai penyalur gaya hingga nantinya masuk ke pondasi. Dalam Struktur atap ini digunakan kolom pendek baja WF yang akan dihubungkan dengan kolom struktur bangunan yang terbuat dari beton. Berikut ini adalah denah kolom pendek struktur atap.

- Data Output SAP 2000 (Frame 21)  
Akibat kombinasi 1,2DL + 1,6H + 0,8W

Frame 21 :



$$P_u = 2559,02 \text{ Kg}$$



$$M_{ux} = 1491,53 \text{ Kg.}$$



$$M_{uy} = 9,81 \text{ Kg.m}$$

➤ Data Perencanaan profil kolom pendek (WF 150. 150. 7. 10)

$A = 40,14 \text{ cm}^2$	$f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$
$I_x = 1640 \text{ cm}^4$	$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$
$I_y = 563 \text{ cm}^4$	$f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$
$Z_x = S_x = 219 \text{ cm}^3$	$L_x = 50 \text{ cm}$
$Z_y = S_y = 75,1 \text{ cm}^3$	$L_y = 50 \text{ cm}$
$r = 11 \text{ mm}$	$kc = 0,5 \text{ (jepit - jepit)}$
$h = (d - 2(tf + r))$	$i_x = 6,39 \text{ cm}$
$= (150 - 2(10 + 11))$	$i_y = 3,75 \text{ cm}$
$= 108 \text{ mm}$	

a. Kontrol Kelangsingan Kolom pendek

- Ditinjau terhadap sayap (flens)

$$\frac{b/2}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{150/2}{10} < \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$7,5 < 10,97 \rightarrow (\text{Penampang Kompak})$$

- Ditinjau terhadap badan (Web)

$$\frac{h}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{108}{8} < \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

15,43 < 108,44 → (Penampang Kompak)  
 Karena Penampang Kompak, Maka  $M_n = M_p$   
 (SNI 03-2847-2002, Pasal 7.6.4)

$$\lambda = \frac{Lk}{ix} \rightarrow Lk = kc \cdot L$$

$$\lambda_x = \frac{kc \cdot Lx}{ix} = \frac{0,5 \cdot 50 \text{ cm}}{6,39 \text{ cm}} = 3,91$$

$$\lambda_y = \frac{kc \cdot Ly}{iy} = \frac{0,5 \cdot 50 \text{ cm}}{3,75 \text{ cm}} = 6,67 \rightarrow (\text{menentukan})$$

Maka yang digunakan dalam perhitungan,  $\lambda_{pakai} = 6,67$  sehingga :

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{fy}{E}}$$

$$\lambda_c = \frac{6,67}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ kg/cm}^2}{2000000 \text{ kg/cm}^2}} = 0,073$$

Maka didapatkan koefisien faktor tekuk struktur sebagai berikut :

$$\lambda_c < 0,25 \rightarrow \omega = 1$$

$$0,07 < 0,25 \text{ maka } \omega = 1$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 7.6.2)

b. Momen Nominal Kolom Pendek Akibat Tekuk Lokal

$$\begin{aligned} M_{nx} &= M_{px} = Z_x \cdot fy \\ &= 219 \text{ cm}^3 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 525600 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= M_{py} = Z_y \cdot fy \\ &= 75,1 \text{ cm}^3 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 180240 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

## c. Kontrol Kuat Tekan Penampang Kolom Pendek

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{A_g \cdot f_y}{\omega} \\
 &= \frac{40,14 \text{ cm}^2 \cdot 2400 \text{ kg/cm}^2}{1} = 96336,000 \text{ kg} \\
 \phi P_n &= 0,85 \cdot 96336,000 \text{ kg} = 81885,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat :

$$P_u < \phi P_n$$

$$2559,02 \text{ kg} < 81885,6 \text{ kg} \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{2559,02 \text{ kg}}{81885,6 \text{ kg}} = 0,031$$

$$\text{Bila } \frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2 \rightarrow 0,031 < 0,2$$

maka digunakan persamaan interaksi sebagai berikut:

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{2559,02 \text{ kg}}{2 \cdot 81885,6 \text{ kg}} + \left( \frac{149153 \text{ kgcm}}{0,9 \cdot 525600 \text{ kgcm}} + \frac{981 \text{ kgcm}}{0,9 \cdot 180240 \text{ kgcm}} \right) \leq 1,0$$

$$0,34 \leq 1,0 \rightarrow (\text{memenuhi syarat})$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3)

#### 4.4.7 Perhitungan Pelat Landas

Sebelum beban kolom diteruskan ke pondasi, beban diterima terlebih dahulu oleh pelat landas (pelat kaki) yang berfungsi meratakan tekanan kolom pada pondasi. Sehingga didapatkan besar gaya-gaya maksimum yang bekerja pada kolom pendek baja dengan kolom beton sebagai berikut.

Dari Output SAP 2000 didapatkan gaya akibat kombinasi 1,2D + 1,3W + 0,5La (frame 21) :

$$M_u = 838,4 \text{ kgm}$$



$$P_u = 2559,02 \text{ kg}$$

➤ Data Perencanaan

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Mutu baja} = \text{BJ 37}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

Dimensi Plat Landas :

$$\text{Lebar (B)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang (L)} = 30 \text{ cm}$$

$$\sigma_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_d < \sigma_{beton}$$

$$\sigma_d < 0,85 \times f_c'$$

$$\frac{P_u}{B \times N} < 0,85 \times f_c'$$

$$\frac{2559,2}{30 \times 30} < 0,85 \times 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$2,84 \text{ kg/cm}^2 < 212,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

$$e = \frac{M}{P}$$

$$e = \frac{83845 \text{ kgcm}}{2559,02 \text{ kg}} = 32,76 \text{ cm}$$

$$A = B \times N = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} \times B \times N^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 30 \times 30^2 = 4500 \text{ cm}^3$$

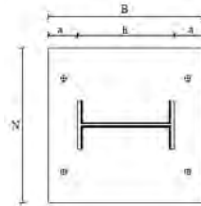
$$\sigma_{\text{max,min}} = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$= \frac{2559,02}{900} \pm \frac{83845}{4500}$$

$$= 2,84 \pm 18,63$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 21,47 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{\min} &= -15,79 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

### 1. Menentukan tebal pelat landas



Gambar 4.26 Penempatan baut angker

$$\begin{aligned}a &= \frac{B-h}{2} \\ &= \frac{300-150}{2} = 75 \text{ mm} = 7,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$S = 1/6 \times B \times t^3 ; M = 1/2 \times \sigma \times a \times B$$

$$\begin{aligned}M_{\text{pelat}} &= 1/2 \times \sigma \times a \times B \\ &= 1/2 \times 21,48 \times 7,5 \times 30 = 2416 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{M_{\text{pelat}}}{S} &< \sigma_{\text{ijin}} \\ \frac{M_{\text{pelat}}}{\frac{1}{6} B \cdot t^3} &< \sigma_{\text{ijin}}\end{aligned}$$

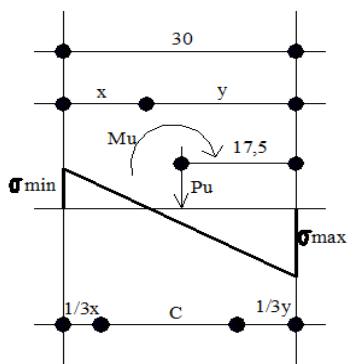
$$t^3 = \frac{6 \times M_{\text{pelat}}}{B \times \sigma_{\text{ijin}}}$$

$$t^3 = \frac{6 \times 2416}{30 \times 1600}$$

$$t = 0,55 \text{ cm} \approx 6 \text{ mm}$$

Maka, tebal pelat landas yang digunakan adalah 6 mm

## 2. Menentukan jumlah angker dan panjangnya



Gambar 4.27 diagram tegangan pada pedestal

$$\frac{\sigma_{\min}}{x} = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{B}$$

$$(\sigma_{\min} + \sigma_{\max}) \cdot x = \sigma_{\min} \cdot B$$

$$x = \frac{B \times \sigma_{\min}}{(\sigma_{\min} + \sigma_{\max})}$$

$$x = \frac{30 \times 15,79}{(15,79 + 21,46)}$$

$$x = 12,71 \text{ cm}$$

$$y = B - x = 30 - 12,71 = 17,29 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 1,5 \times 2 \times t_f \\ &= 1,5 \times 2 \times 9 \\ &= 27 \text{ mm} = 2,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1/3x &= 1/3 \times (12,71) \\ &= 4,24 \text{ cm} < S_{\min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1/3y &= 1/3 \times (17,29) \\ &= 5,76 \text{ cm} > S_{\min} \end{aligned}$$

$$r = 17,5 - 1/3y$$

$$= 17,5 - 5,76 = 11,74 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} C &= 30 - 1/3x - 1/3y \\ &= 30 - 4,24 - 5,76 \\ &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{M+P.r}{\frac{c}{20}} \\ &= \frac{83845 + (2559,02 \times 11,74)}{20} \\ &= 5694 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ Jumlah baut yang di butuhkan :

- Ditinjau terhadap tahanan Leleh

$$\begin{aligned} P_u &= A_g \times f_y \times \phi \\ &= A_g \times 2400 \times 0,75 \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,75 \times f_y} = \frac{5694}{0,75 \times 2400} = 3,16 \text{ cm}^2$$

- Ditinjau terhadap tahanan Putus

$$\begin{aligned} P_u &= 0,75 \times A_g \times f_u \times \phi \\ &= 0,75 \times A_g \times 3700 \times 0,75 \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,75 \times f_u \times 0,75} = \frac{5694}{0,75 \times 3700 \times 0,75} = 2,74 \text{ cm}^2$$

Ag menentukan dari tahanan putus = 2,74 cm<sup>2</sup>

Dipakai baut diameter 16 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2 = 2,01 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Bila digunakan 2 sisi baut, maka tiap sisi A baut perlu adalah  $2,74 : 2 = 1,37 \text{ cm}^2$

Baut perlu tiap sisi

$$\frac{1,37}{2,01} = 0,68 \approx 2 \text{ buah}$$

Maka diperlukan 2 angkur diameter 16 mm pada tiap sisinya.

### 3. Panjang penyaluran angkur dengan beton

Keliling Penampang  $L = 0,8f_c'$

$$\pi \times d^2 = 0,8f_c'$$

$$L = \frac{0,8f_c'}{\pi \times d^2} = \frac{0,8 \times 300}{\pi \times 1,6^2} = 29,8 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran angkur adalah 300 mm

### 4. Menghitung sambungan las kolom WF pada pelat landas

Direncanakan :

Tebal pelat = 6 mm

$F_u$  = 490 Mpa

$a$  = 3 mm → tebal las minimum

$t_e$  =  $0,707 \times a$

$$= 0,707 \times 3 = 2,121 \text{ mm}$$

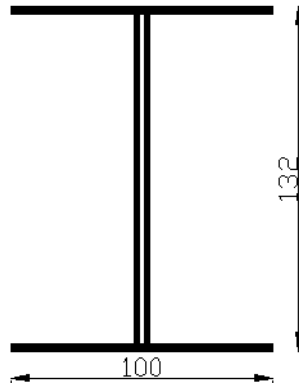
Mutu baja = BJ 37

Data Output Sap Akibat kombinasi 1,2D + 1,3W + 0,5La :

$P_u$  = 2559,02 kg

$V_u$  = 1312,12 kg

$M_u$  = 838,45 kgm



Gambar 4.28 Modulus Penampang Las

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tot}} &= 2 \times (100 + 132) = 100 \text{ mm} \\
 S &= (b \times d) + (d^2/3) \\
 &= (150 \times 100) + (100^2/3) \\
 &= 22.500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

## ❖ Tinjau Las

- Ditinjau terhadap Las

$$\begin{aligned}
 \Phi R_n &= 0,75 \times t_e \times (0,6 \times f_u w) \\
 &= 0,75 \times 2,121 \text{ mm} \times (0,6 \times 490 \text{ N/mm}^2) \\
 &= 467,68 \text{ N/mm} = 46,768 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

- Ditinjau terhadap Bahan dasar

$$\begin{aligned}
 \Phi R_n &= 0,75 \times t \times (0,6 \times f_u) \\
 &= 0,75 \times 6 \text{ mm} \times (0,6 \times 370 \text{ N/mm}^2) \\
 &= 999 \text{ N/mm} = 99,9 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

Maka ditinjau terhadap Las yang menentukan



Tinjau Tarik

$$\begin{aligned}
 \Phi R_n &> P_u \\
 46,768 \text{ kg/mm} \times L_{\text{tot}} &> 5952,61 \text{ kg} \\
 21.700,38 \text{ kg} &> 2559,02 \text{ kg} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$



Tinjau Geser

$$\Phi R_n > V_u$$

$$46,768 \text{ kg/mm} \times L_{\text{tot}} > 4056,02 \text{ kg}$$

$$21.700,38 \text{ kg} > 1312,12 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

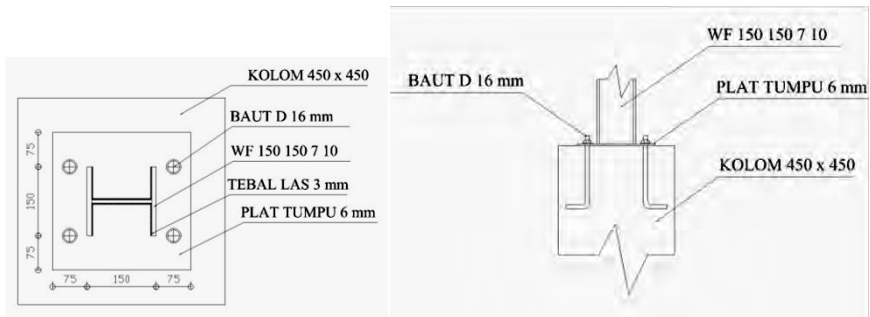


Tinjau Momen

$$\Phi R_n \times S > M_u$$

$$46,768 \text{ kg/mm} \times S > 83.845 \text{ kgcm}$$

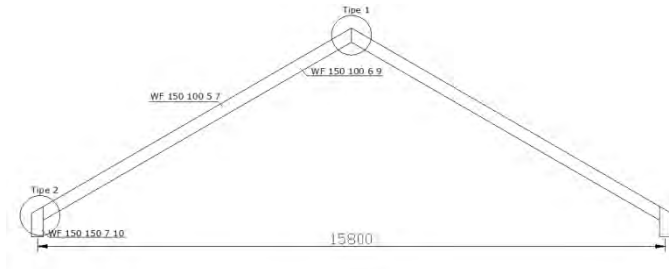
$$1052281 \text{ kg/cm} > 83.845 \text{ kgcm} \quad (\text{OK})$$



Gambar 4.29 Detail Penampang Pelat landas dan Angker

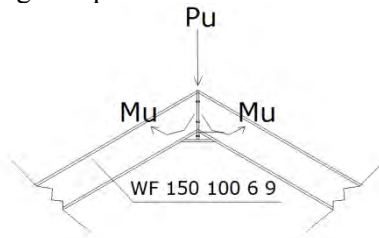
#### 4.4.8 Perhitungan Sambungan Atap

Struktur baja merupakan gabungan dari komponen batang yang di satukan dengan alat penyambung beberapa jenis alat penyambung yang biasa digunakan adalah baut dan las. Pada struktur kuda-kuda rangka kaku ini menggunakan sambungan baut dan sambungan las dan pada perhitungan akan di tinjau dari dua macam sambungan (sambungan antar kuda-kuda dan sambungan kuda-kuda dengan kolom) sebagai berikut :



Gambar 4.30 Letak titik sambungan yang Ditinjau

Sambungan Tipe 1 :



Gambar 4.31 Sambungan tipe 1

- Data output SAP 2000 Frame 403 :  
Akibat kombinasi beban 1,2DL+1,3W+0,5La

$$\begin{aligned} P_u &= 1193,91 \text{ kg} \\ M_u &= 1190,91 \text{ kgm} \end{aligned}$$

**a. Perhitungan sambungan Las**

- Data Perencanaan Sambungan
 

Tebal plat baja	: 8 mm
Fuw	: 490 Mpa

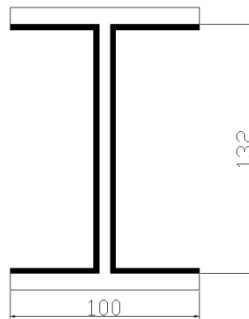


Tabel 4.2 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal, t (mm)	Tebal minimum las sudut (mm)
$t \leq 7$	3
$7 \leq t \leq 10$	4
$10 \leq t \leq 15$	5
$15 \leq t$	6

$$\begin{aligned}
 a &= 4\text{mm} \\
 te \text{ (tebal efektif las)} &= 0,707 \times a = 0,707 \times 4\text{mm} \\
 &= 2,828\text{ mm} \\
 \text{Mutu Baja} &: \text{BJ 37} \\
 F_y &: 240\text{ Mpa} \\
 F_u &: 370\text{ Mpa} \\
 \alpha &: 30^\circ
 \end{aligned}$$

- Geser sentris  
Detail sambungan las :



Gambar 4.32 Detail Sambungan Las

Menghitung panjang las ( $L_{tot}$ ) :

$$\begin{aligned}
 L_{tot} &= (2 \times 132\text{mm}) + ((100\text{mm} - 6\text{mm}) \times 2) \\
 &= 452\text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar las :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \times L_{tot} \\
 &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 490 \times 452 \\
 &= 281855,448 \text{ N} \\
 &= 28185,5448 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \times L_{tot} \\
 &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 370 \times 452 \\
 &= 212829,624 \text{ N} \\
 &= 21282,9624 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Maka t

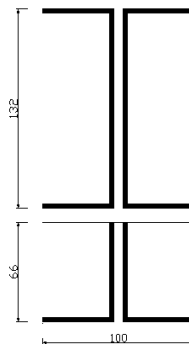
injauan berdasarkan bahan dasar menentukan :

Cek Syarat :

$$P_u \leq \phi R_n$$

$$1190,91 \text{ kg} \leq 21282,9624 \text{ kg (memenuhi syarat)}$$

- Geser Lentur  
Dicoba Sambungan Las



Gambar 4.33 Detail Sambungan Las Geser Lentur

Menghitung Modulus penampang (S):

$$\begin{aligned}
 S &= b \times d + (d^2/6) \times 2 + ((4b.d + d^2) / 6) \times 2 \\
 &= ((100 \times 132) + (132^2/6)) \times 2 + (((4 \times 100 \times 66) + 66^2)/6) \times 2 \\
 &= 42460 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan las :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \\
 &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 490 \\
 &= 623,574 \text{ N/mm} \\
 &= 62357,4 \text{ Kg/m (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \\
 &= 0,75 \times 8 \times 0,6 \times 370 \\
 &= 1332 \text{ N/mm} \\
 &= 133100 \text{ Kg/m}
 \end{aligned}$$

Maka tinjauan berdasarkan bahan dasar las menentukan :

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi R_n \cdot S \\
 &= 623,574 \text{ N/mm} \times 42460 \text{ mm}^2 \\
 &= 26476952,04 \text{ N.mm} \\
 &= 2647,59 \text{ Kg.m}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat :

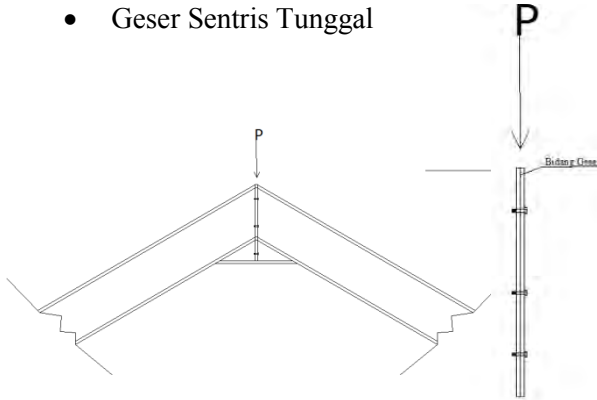
$$\begin{aligned}
 &M_u \leq M_n \\
 &1193,91 \text{ Kg.m} \leq 2647,59 \text{ Kg.m (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

## b. Perhitungan sambungan Baut

- Data perencanaan Sambungan
  - Fub : 829 Mpa
  - r : 0,4 (dengan ulir)
  - Diameter baut : 10
  - Mutu Baja : BJ 37
  - Fy : 240 Mpa
  - Fu : 370 Mpa
  - (Tebal plat minimum dapat diperoleh dari **Tabel 4.8**)
  - Tebal Plat : 8 mm

$$\begin{aligned}
 \alpha &: 30^\circ \\
 m &: 1 \\
 U &: 0,75 \\
 A_g &= t_p \times b = 8 \times 100 = 800 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Geser Sentris Tunggal



Gambar 4.34 Detail Sambungan Baut

Cek tahanan satu baut :

- Tinjau terhadap tahanan geser baut
 
$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \times m \times r \times F_{ub} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 1 \times 0,4 \times 829 \times (1/4\pi (10^2)) \\
 &= 19532,852 \text{ N/baut} \\
 &= 1953,285 \text{ kg/baut (menentukan)}
 \end{aligned}$$
- Tinjauan terhadap tumpuan baut
 
$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 2,4 \times \phi \times d_b \times t_p \times f_u \\
 &= 2,4 \times 0,75 \times 10 \times 8 \times 370 \\
 &= 53280 \text{ N/baut} \\
 &= 5328 \text{ kg/baut}
 \end{aligned}$$
- Tinjauan terhadap tahana tarik baut
 
$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \times 0,75 \times f_{ub} \times A_b \\
 &= 0,75 \times 0,75 \times 829 \times (1/4\pi (10^2)) \\
 &= 36624,098 \text{ N/baut} \\
 &= 3662,41 \text{ kg/baut}
 \end{aligned}$$

Maka Tinjauan geser baut menentukan

$$\text{Kebutuhan baut} : \frac{1193,91}{1953,285} = 0,61 \text{ buah}$$

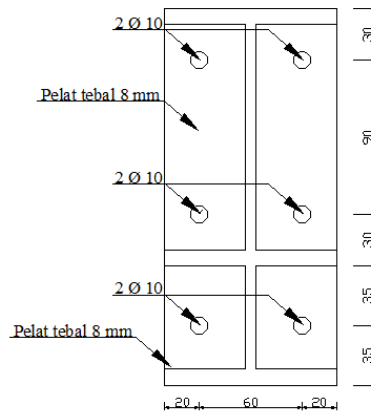
Pasang = 6 buah

Cek Syarat :

$$P_u \leq \phi R_n \times n$$

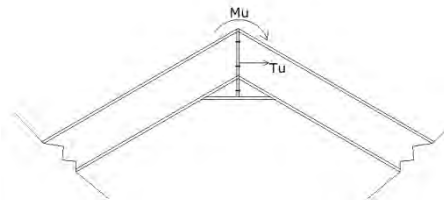
$$1193,91 \text{ kg} \leq 1953,285 \text{ kg} \times 6$$

$$1193,91 \text{ kg} \leq 11719,7 \text{ kg (Memenuhi)}$$



Gambar 4.35 Hasil perhitungan baut geser sentris tunggal

- Geser Lentur



Gambar 4.36 Gaya pada sambungan geser lentur

## - Tahanan Tarik Baut

Direncanakan jumlah baut 3 buah

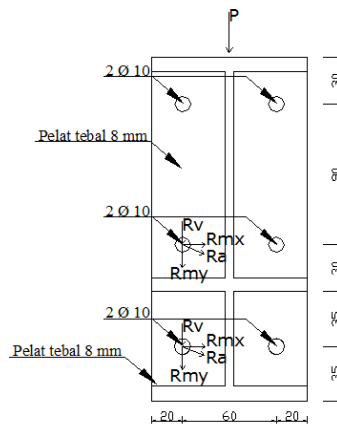
$$\phi T_n = \phi \times 0,75 \times F_{ub} \times n \times A_b$$

$$= 0,75 \times 0,75 \times 829 \times 6 \times (1/4 \cdot \Pi \cdot 10^2)$$

$$= 219744,58 \text{ N}$$

$$= 21974,458 \text{ kg}$$

Direncanakan dua baut per baris :



Gambar 4.37 Distribusi gaya pada sambungan baut

$$R_v = \frac{P_u}{n} = \frac{1193,91}{6} = 199 \text{ kg} = 1990 \text{ N}$$

$$\sum x^2 + \sum y^2 = (4 \times (30^2)) + ((4 \times (45^2))) = 11700 \text{ mm}^2$$

$$R_{mx1} = \frac{M_u \cdot y}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{1190910 \times 45}{11700} = 4580,42 \text{ kg} \\ = 45804,2 \text{ N}$$

$$R_{my1} = \frac{Mu \cdot x}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{1190910 \times 30}{11700} = 3053,62 \text{ kg} \\ = 30536,2 \text{ N}$$

$$R_{u1} = \sqrt{R_{mx}^2 + (R_v + R_{my})^2} \\ = \sqrt{45804,2^2 + (1990 + 30536,2)^2} \\ = 56178,09 \text{ N}$$

$$\sum x^2 + \sum y^2 = (4 \times (30^2)) + ((4 \times (37,5^2))) = 9225 \text{ mm}^2$$

$$R_{mx2} = \frac{Mu \cdot y}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{1190910 \times 37,5}{9225} = 4841,09 \text{ kg} \\ = 48410,9 \text{ N}$$

$$R_{my2} = \frac{Mu \cdot x}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{1190910 \times 30}{9225} = 3872,87 \text{ kg} \\ = 38728,7 \text{ N}$$

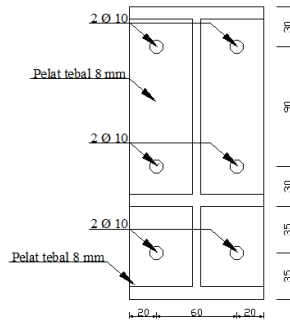
$$R_{u2} = \sqrt{R_{mx}^2 + (R_v + R_{my})^2} \\ = \sqrt{48410,9^2 + (1990 + 38728,7)^2} \\ = 62358,42 \text{ N}$$

$$\text{Maka } R_u \text{ total : } R_{u1} + R_{u2} \\ = 56178,09 + 62358,42 \\ = 119436,51 \text{ N}$$

Cek Syarat :

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$119436,51 \text{ N} \leq 219744,588 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$



Gambar 4.38 Susunan baut yang digunakan

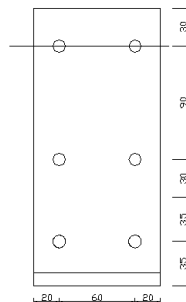
- **Tinjauan Pada Pelat**

- Kondisi Leleh

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= \phi A_g F_y \\
 &= 0,9 \times (t_p \times b) \times 240 \\
 &= 0,9 \times (8 \times 100) \times 240 \\
 &= 172800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kondisi Fraktur

Kondisi Fraktur 1



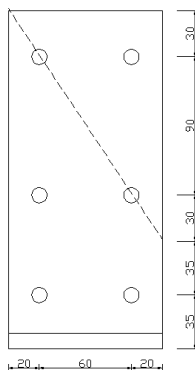
Gambar 4.39 Arah robekan pada kondisi fraktur 1

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - N \times d \times t \\
 &= (8 \times 100) - (2 \times (10 + 2) \times 8)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 608 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= U \times A_n \\
 &= 0,75 \times 608 \\
 &= 456 \text{ mm}^2 \\
 \Phi T_n &= \phi \times A_e \times F_u \\
 &= 0,75 \times 456 \times 370 \\
 &= 126540 \text{ N} \\
 &= 12654 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kondisi Fraktur 2



Gambar 4.40 Arah robekan pada kondisi fraktur 2

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - n \times d \times t + \sum \frac{s^2 \times t p}{4xu} \\
 &= (8 \times 100) - (2 \times (10 + 2) \times 8) + \frac{60^2 \times 8}{4 \times 90} \\
 &= 688 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= U \times A_n \\
 &= 0,75 \times 688 \\
 &= 516 \text{ mm}^2 \\
 \Phi T_n &= \phi \times A_e \times F_u \\
 &= 0,75 \times 516 \times 370
 \end{aligned}$$

$$= 143190 \text{ N}$$

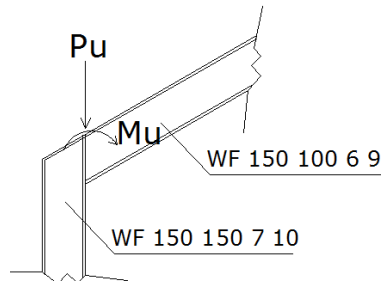
$$= 14319 \text{ kg (Menentukan)}$$

Cek Syarat :

$$P_u \leq \Phi T_n$$

$$1193,91 \text{ Kg} \leq 14319 \text{ kg} \quad (\text{Memenuhi})$$

❖ **Sambungan Tipe 2 :**



Gambar 4.41 Sambungan Kuda – Kuda dan kolom

- Data output SAP 2000 Frame 403 :  
Akibat kombinasi beban 1,2DL+1,3W+0,5La

$$M_u = 2410,80 \text{ Kg.m}$$

$$P_u = 2151,7 \text{ kg}$$

**a. Perhitungan Sambungan Las**

- Data Perencanaan Sambungan

Tebal plat baja : 8 mm

$F_u$  : 490 Mpa

(Dengan melihat Tabel 4.8, Maka dapat diperoleh tebal las minimum)

$a$  : 4mm

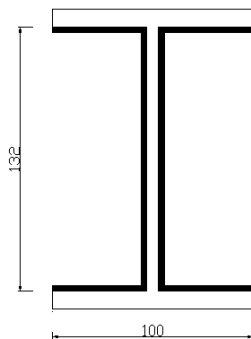
$t_e$  (tebal efektif las) =  $0,707 \times a = 0,707 \times 4\text{mm}$   
= 2,828 mm

Mutu Baja : BJ 37

$F_y$  : 240 Mpa

$F_u$  : 370 Mpa  
 $\alpha$  :  $30^\circ$

- Geser sentris  
Detail sambungan las



Gambar 4.42 Detail Sambungan Las

Menghitung panjang las ( $L_{tot}$ ) :

$$\begin{aligned}
 L_{tot} &= (2 \times 132\text{mm}) + ((100\text{mm} - 6\text{mm}) \times 2) \\
 &= 452\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar las :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \times L_{tot} \\
 &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 490 \times 452 \\
 &= 281855,45 \text{ N} \\
 &= 28185,545 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar las :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \times L_{tot} \\
 &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 370 \times 452 \\
 &= 212829,624 \text{ N} \\
 &= 21282,962 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

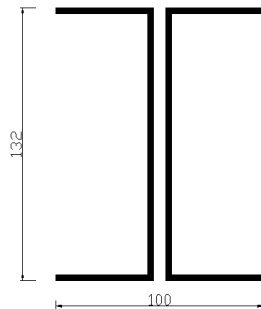
Maka tinjauan berdasarkan bahan dasar las menentukan

Cek Syarat :

$$P_u \leq \phi R_n$$

$$2151,7 \text{ kg} \leq 21282,962 \text{ kg (memenuhi syarat)}$$

- Geser Lentur  
Dicoba Sambungan Las 1

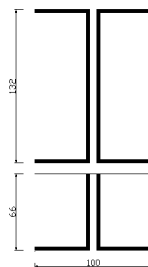


Gambar 4.43 Detail Sambungan Las 1 Geser Lentur

Menghitung Modulus penampang (S):

$$\begin{aligned} S_1 &= b \times d + (d^2/6) \times 2 \\ &= ((100 \times 132) + (132^2/6)) \times 2 \\ &= 32208 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba Sambungan Las 2



Gambar 4.40 Detail Sambungan Las 2 Geser Lentur

Menghitung Modulus penampang (S):

$$\begin{aligned} S2 &= b \times d + (d^2/6) \times 2 + ((4b.d + d^2) / 6) \times 2 \\ &= ((100 \times 132) + (132^2/6)) \times 2 + (((4 \times 100 \times 66) + 66^2)/6) \times 2 \\ &= 42460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan las :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u w \\ &= 0,75 \times 2,828 \times 0,6 \times 490 \\ &= 623,574 \text{ N/mm} \\ &= 62357,4 \text{ Kg/m (menentukan)} \end{aligned}$$

Tinjauan berdasarkan bahan dasar :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \\ &= 0,75 \times 8 \times 0,6 \times 370 \\ &= 1332 \text{ N/mm} \\ &= 133100 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Maka tinjauan berdasarkan bahan dasar las menentukan :

$$\begin{aligned} Mn1 &= \phi R_n.S1 \\ &= 623,574 \text{ N/mm} \times 32208 \text{ mm}^2 \\ &= 20084071,39 \text{ N.mm} \\ &= 2008,4 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn2 &= \phi R_n.S2 \\ &= 623,574 \text{ N/mm} \times 42460 \text{ mm}^2 \\ &= 26476952,04 \text{ N.mm} \\ &= 2647,59 \text{ Kg.m} \end{aligned}$$

Cek Syarat :

$$\begin{aligned} \mu &\leq Mn1 \\ 2410,8 \text{ Kg.m} &\leq 2008,4 \text{ Kg.m (Tidak Memenuhi)} \\ \mu &\leq Mn2 \\ 2410,8 \text{ Kg.m} &\leq 2647,59 \text{ Kg.m (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka sambungan geser lentur las yang digunakan adalah sambungan las 2

### b. Perhitungan Sambungan Baut

➤ Data perencanaan

Fub : 829 Mpa

r : 0,4 (dengan ulir)

Diameter Baut : 10

Mutu Baja : BJ 37

(Dengan melihat Tabel 4.8, Maka dapat diperoleh tebal las minimum)

Tebal Plat : 8 mm

Fy : 240 Mpa

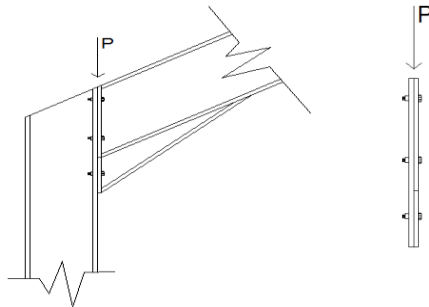
Fu : 370 Mpa

$\alpha$  :  $30^\circ$

m : 1

$A_g = t_p \times b = 8 \times 100 = 800 \text{ mm}^2$

• Geser Sentris Tunggal:



Gambar 4.44 Rencana Sambungan Baut

• Cek tahanan satu baut :

- Tinjau terhadap tahanan geser baut

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \times m \times r \times F_{ub} \times A_b \\ &= 0,75 \times 1 \times 0,4 \times 829 \times (1/4\pi (10^2)) \\ &= 19532,853 \text{ N/baut} \\ &= 1953,285 \text{ kg/baut (menentukan)}\end{aligned}$$

- Tinjauan terhadap tumpuan baut  

$$\phi R_n = 2,4 \times \phi \times d_b \times t_p \times f_u$$

$$= 2,4 \times 0,75 \times 10 \times 8 \times 370$$

$$= 53280 \text{ N/baut}$$

$$= 5328 \text{ kg/baut}$$
- Tinjauan terhadap tahanan tarik baut  

$$\phi R_n = \phi \times 0,75 \times f_{ub} \times A_b$$

$$= 0,75 \times 0,75 \times 829 \times (1/4\pi (10^2))$$

$$= 36624,098 \text{ N/baut}$$

$$= 3662,41 \text{ kg/baut}$$

Maka Tinjauan tahanan geser baut menentukan

$$\text{Kebutuhan baut } (n) = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{2151,7}{1953,28} = 1,1$$

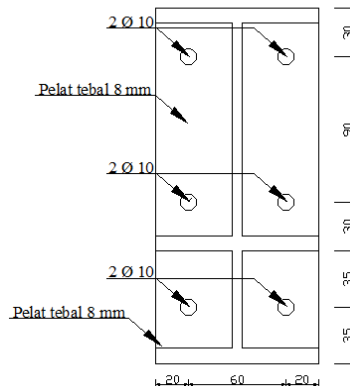
Pasang = 6 buah baut

Cek Syarat :

$$P_u \leq \phi R_n \times n$$

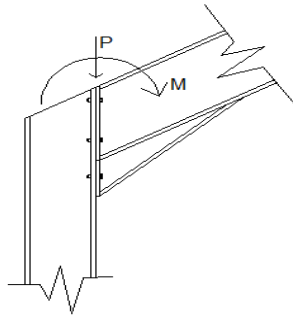
$$2151,7 \text{ kg} \leq 1953,285 \text{ kg} \times 6 \text{ buah}$$

$$2151,7 \text{ kg} \leq 11719,71 \text{ kg} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.45 Hasil perhitungan baut geser sentris tunggal

- Geser Lentur

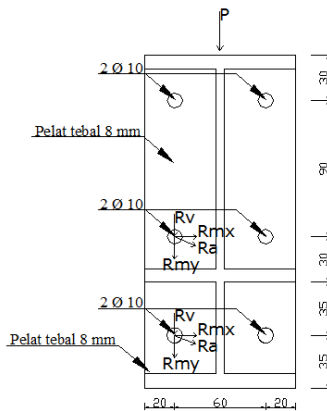


Gambar 4.46 Gaya pada sambungan geser lentur

- Tahanan Tarik Baut

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \times 0,75 \times F_{ub} \times n \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 829 \times 6 \times (1/4 \cdot \Pi \cdot 10^2) \\ &= 219744,588 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan dua baut per baris :



Gambar 4.47 Distribusi gaya pada sambungan baut



$$R_v = \frac{Pu}{n} = \frac{2151,7}{6} = 358,6 \text{ kg} = 3586 \text{ N}$$

$$\sum x_1^2 + \sum y_1^2 = (4x (30^2)) + ((4x (45^2)) = 11700 \text{ mm}^2$$

$$R_{mx1} = \frac{Mu \cdot y}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{2410800 \times 45}{11700} = 9272,3 \text{ kg} \\ = 92723 \text{ N}$$

$$R_{my1} = \frac{Mu \cdot x}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{2410800 \times 30}{11700} = 6181,54 \text{ kg} \\ = 61815,4 \text{ N}$$

$$R_{u1} = \sqrt{R_{mx}^2 + (R_v + R_{my})^2} \\ = \sqrt{92723^2 + (3586 + 61815,4)^2} \\ = 93467 \text{ N}$$

$$\sum x_2^2 + \sum y_2^2 = (4x (30^2)) + ((4x (37,5^2)) = 9225 \text{ mm}^2$$

$$R_{mx2} = \frac{Mu \cdot y}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{2410800 \times 45}{9225} = 11760 \text{ kg} \\ = 117600 \text{ N}$$

$$R_{my2} = \frac{Mu \cdot x}{\sum x^2 \cdot \sum y^2} = \frac{2410800 \times 30}{9225} = 7840 \text{ kg} \\ = 78400 \text{ N}$$

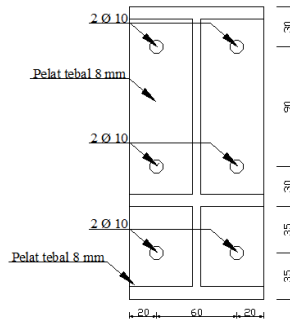
$$R_{u2} = \sqrt{R_{mx}^2 + (R_v + R_{my})^2} \\ = \sqrt{117600^2 + (3586 + 78400)^2} \\ = 113357,8 \text{ N}$$

$$\text{Maka } R_u \text{ total : } R_{u1} + R_{u2} \\ = 93467 + 113357,8 \\ = 206824,8 \text{ N}$$

Cek Syarat :

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$206824,8 \text{ N} \leq 219744,588 \text{ N (Memenuhi)}$$



Gambar 4.48 Susunan baut yang digunakan

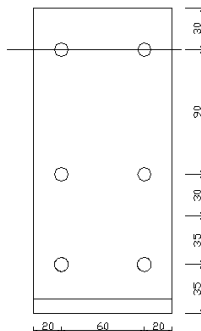
- **Tinjauan Pada Pelat**

- Kondisi Leleh

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= \phi A_g F_y \\
 &= 0,9 \times (t_p \times b) \times 240 \\
 &= 0,9 \times (8 \times 100) \times 240 \\
 &= 172800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kondisi Fraktur

Kondisi Fraktur 1

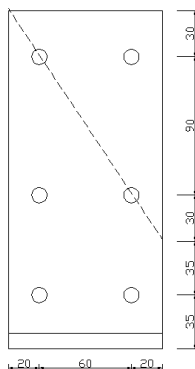


Gambar 4.49 Arah robekan pada kondisi fraktur 1

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - N \times d \times t \\
 &= (8 \times 100) - (2 \times (10 + 2) \times 8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 608 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= U \times A_n \\
 &= 0,75 \times 608 \\
 &= 456 \text{ mm}^2 \\
 \Phi T_n &= \phi \times A_e \times F_u \\
 &= 0,75 \times 456 \times 370 \\
 &= 126540 \text{ N} \\
 &= 12654 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kondisi Fraktur 2



Gambar 4.50 Arah robekan pada kondisi fraktur 2

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - n \times d \times t + \sum \frac{S^2 \times t p}{4xu} \\
 &= (8 \times 100) - (2 \times (10 + 2) \times 8) + \frac{60^2 \times 8}{4 \times 90} \\
 &= 688 \text{ mm}^2 \\
 A_e &= U \times A_n \\
 &= 0,75 \times 688 \\
 &= 516 \text{ mm}^2 \\
 \Phi T_n &= \phi \times A_e \times F_u \\
 &= 0,75 \times 516 \times 370 \\
 &= 143190 \text{ N} \\
 &= 14319 \text{ kg (Menentukan)}
 \end{aligned}$$

Cek Syarat :

$$P_u \leq \Phi T_n$$

$$2151,7 \text{ Kg} \leq 14319 \text{ kg} \quad (\text{Memenuhi})$$

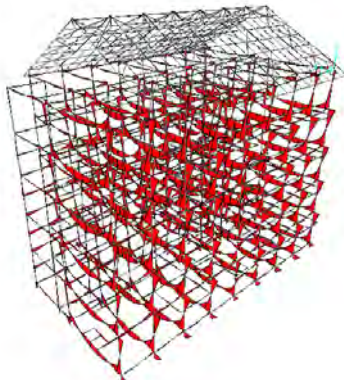
#### 4.5 Perhitungan Gempa

Perencanaan struktur utama dari gedung ini meliputi perencanaan balok induk dan kolom sebagai elemen utama dari gedung, dimana struktur utama tersebut direncanakan menerima beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa. Pelat yang dipikul oleh balok dianggap membebani balok induk dan balok anak.

Pada perhitungan struktur utama digunakan program bantu komputer SAP 2000. Perhitungan struktur ini menggunakan analisa sistem rangka pemikul momen yaitu SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah).

##### 4.5.1 Permodelan Struktur

Struktur utama dianalisa dengan menggunakan bantuan software SAP 2000. Dimana sistem struktur dari balok dan kolom dimodelkan sebagai dengan perletakan jepit pada dasar kolom. Sedangkan perencanaan terhadap gempa akan dianalisa dengan statik ekuivalen.



Gambar 4.51 Permodelan Struktur

#### 4.5.2 Pembebanan

Struktur dibebani oleh beban hidup dan beban mati yang berasal dari lantai (keramik + spesi), berat instalasi listrik dan plafon, berat dinding, beban struktur sendiri dan beban gempa. Beban mati dan beban hidup dikelompokkan di dalam beban gravitasi yang dipikul oleh balok. Sedangkan untuk beban gempa termasuk dalam beban horizontal yang diterima oleh kolom pada masing-masing tingkat yang kemudian diteruskan ke pondasi.

Kombinasi pembebanan menurut SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 adalah sebagai berikut :

1. 1 DL + 1 LL (untuk perhitungan pondasi)
2. 1,4 DL
3. 1,2 DL + 1,6 LL
4. 1,2 DL + 1,0 LL  $\pm$  1,0 EQ<sub>x</sub>  $\pm$  0,3 EQ<sub>y</sub>
5. 1,2 DL + 1,0 LL  $\pm$  0,3 EQ<sub>x</sub>  $\pm$  1,0 EQ<sub>y</sub>
6. 0,9 DL  $\pm$  1,0 EQ<sub>x</sub>  $\pm$  0,3 EQ<sub>y</sub>
7. 0,9 DL  $\pm$  0,3 EQ<sub>x</sub>  $\pm$  1,0 EQ<sub>y</sub>
8. 1,2 DL + 1,0 LL (untuk perhitungan geser)

#### 4.5.3 Perhitungan Beban Gempa

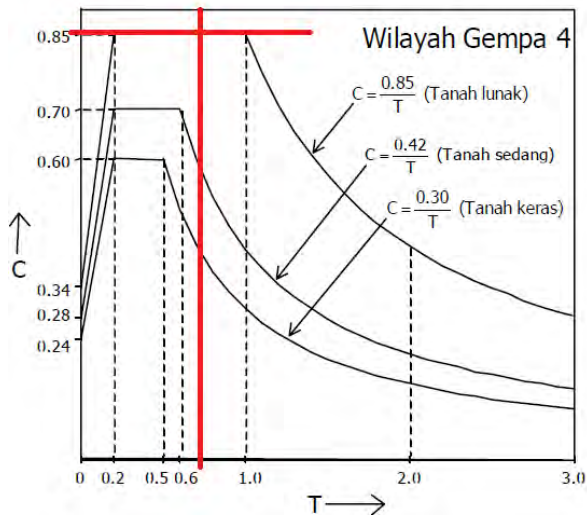
Perhitungan beban gempa pada bangunan ini dilakukan dengan menggunakan analisa statik ekuivalen dimana menurut SNI 1726-2002 pasal 6.1.3 gaya geser dasar nominal harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban gempa nominal statik ekuivalen pada gedung yang beraturan. Adapun langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut :

##### a. Waktu getar struktur (T)

$$\begin{aligned}
 T &= 0,0731 \times h^{3/4} \\
 &= 0,0731 \times 23^{3/4} \\
 &= 0,767 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

### b. Faktor respons gempa (C)

Gedung rumah susun sederhana sewa direncanakan dibangun pada daerah dengan zona gempa 4 dan berdasarkan hasil SPT (lampiran) tanah pada lokasi gedung tersebut dapat digolongkan sebagai tanah lunak. Oleh karena itu, untuk perhitungan gaya geser dasar nominal statik ekuivalen terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana, dilakukan dengan metode analisis ragam respons spektrum dengan memakai gambar.



Gambar 4.52 Wilayah gempa zona 4

### c. Faktor keutamaan (I)

Berdasarkan fungsinya, gedung ini berfungsi sebagai gedung hunian sehingga berdasarkan tabel 1 SNI 1726-2002, didapatkan  $(I) = 1,0$ .

Tabel 4.3 Faktor Keutamaan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

#### d. Faktor reduksi gempa (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan SRPMM, sehingga berdasarkan tabel 3 SNI 1726-2002 didapatkan nilai faktor reduksi gempa  $R = 5,5$ .

3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM) (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8

#### W<sub>0</sub> :

Beban mati :

$$1. \text{ Kolom} = 2400 \times 0,25 \times 0,45 \times 0,45 \times 37 = 4495,5 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_0 = 4495,5 \text{ kg}$$

#### W<sub>1</sub> :

Beban mati :

$$1. \text{ Kolom} = 2400 \times 1,8 \times 0,45 \times 0,45 \times 37 = 32367,6 \text{ kg}$$

$$= 2400 \times 0,25 \times 0,45 \times 0,45 \times 37 = 4495,5 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Sloof 1} = 2400 \times 7 \times 0,45 \times 0,3 \times 17 = 38556 \text{ kg}$$

	$= 2400 \times 1,8 \times 0,45 \times 0,3 \times 9$	$= 5248,8 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 4,25 \times 0,45 \times 0,3 \times 1$	$= 1377 \text{ kg}$
3. Sloof 2	$= 2400 \times 3 \times 0,3 \times 0,25 \times 39$	$= 21060 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 1,8 \times 0,3 \times 0,25 \times 2$	$= 648 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 1 \times 0,3 \times 0,25 \times 4$	$= 720 \text{ kg}$
4. Pelat	$= 2400 \times 0,12 \times 343,45$	$= 98913,6 \text{ kg}$
5. Dinding	$= 250 \times 3,6 \times 231,575$	$= 208417 \text{ kg}$
		$= 411804 \text{ kg}$

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 15,8 \times 24 \times 0,8 = 75840 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_1 = 487644 \text{ kg}$$

## W2 :

Beban mati :

1. Kolom	$= 2400 \times 3,6 \times 0,45 \times 0,45 \times 37$	$= 64735,2 \text{ kg}$
2. B1	$= 2400 \times 7 \times 0,45 \times 0,3 \times 17$	$= 38556 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 1,8 \times 0,45 \times 0,3 \times 9$	$= 5248,8 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 4,25 \times 0,45 \times 0,3 \times 1$	$= 1377 \text{ kg}$
3. B2	$= 2400 \times 3 \times 0,3 \times 0,25 \times 33$	$= 17820 \text{ kg}$
4. B.anak1	$= 2400 \times 3 \times 0,3 \times 0,25 \times 13$	$= 5616 \text{ kg}$
5. B.anak2	$= 2400 \times 1,5 \times 0,3 \times 0,2 \times 12$	$= 2592 \text{ kg}$
6. B.kant1	$= 2400 \times 1,2 \times 0,3 \times 0,25 \times 20$	$= 4320 \text{ kg}$
7. B.kant2	$= 2400 \times 1,5 \times 0,3 \times 0,2 \times 12$	$= 2592 \text{ kg}$
8. Pelat	$= 2400 \times 0,12 \times 343,45$	$= 98913,6 \text{ kg}$
9. Dinding	$= 250 \times 3,6 \times 231,575$	$= 208417 \text{ kg}$
10. Spesi	$= 21 \times 343,45$	$= 7212,45 \text{ kg}$
11. Langit-langit	$= 11 \times 343,45$	$= 3777,95 \text{ kg}$
12. Penggantungan	$= 7 \times 343,45$	$= 2404,15 \text{ kg}$
13. Instalasi listrik	$= 40 \times 343,45$	$= 13738 \text{ kg}$
		$= 477320 \text{ kg}$

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 15,8 \times 24 \times 0,8 = 75840 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_2 = 553160 \text{ kg}$$



**W3 :**

Beban mati :

1. Kolom	= 2400 x 3,6 x 0,45 x 0,45 x 37	= 64735,2 kg
2. B1	= 2400 x 7 x 0,45 x 0,3 x 17	= 38556 kg
	= 2400 x 1,8 x 0,45 x 0,3 x 9	= 5248,8 kg
	= 2400 x 4,25 x 0,45 x 0,3 x 1	= 1377 kg
3. B2	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 33	= 17820 kg
4. B.anak1	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 13	= 5616 kg
5. B.anak2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592 kg
6. B.kant1	= 2400 x 1,2 x 0,3 x 0,25 x 20	= 4320 kg
7. B.kant2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592 kg
8. Pelat	= 2400 x 0,12 x 343,45	= 98913,6 kg
9. Dinding	= 250 x 3,6 x 231,575	= 208417 kg
10. Spesi	= 21 x 343,45	= 7212,45 kg
11. Langit-langit	= 11 x 343,45	= 3777,95 kg
12. Penggantung	= 7 x 343,45	= 2404,15 kg
13. Instalasi listrik	= 40 x 343,45	= 13738 kg
		= 477320 kg

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 15,8 \times 24 \times 0,8 = 75840 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_3 = 553160 \text{ kg}$$

**W4 :**

Beban mati :

1. Kolom	= 2400 x 3,6 x 0,45 x 0,45 x 37	= 64735,2 kg
2. B1	= 2400 x 7 x 0,45 x 0,3 x 17	= 38556 kg
	= 2400 x 1,8 x 0,45 x 0,3 x 9	= 5248,8 kg
	= 2400 x 4,25 x 0,45 x 0,3 x 1	= 1377 kg
3. B2	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 33	= 17820 kg
4. B.anak1	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 13	= 5616 kg
5. B.anak2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592 kg
6. B.kant1	= 2400 x 1,2 x 0,3 x 0,25 x 20	= 4320 kg
7. B.kant2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592 kg
8. Pelat	= 2400 x 0,12 x 343,45	= 98913,6 kg

9. Dinding	$= 250 \times 3,6 \times 231,575$	$= 208417 \text{ kg}$
10. Spesi	$= 21 \times 343,45$	$= 7212,45 \text{ kg}$
11. Langit-langit	$= 11 \times 343,45$	$= 3777,95 \text{ kg}$
12. Penggantung	$= 7 \times 343,45$	$= 2404,15 \text{ kg}$
13. Instalasi listrik	$= 40 \times 343,45$	$= 13738 \text{ kg}$
		$= 477320 \text{ kg}$

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 15,8 \times 24 \times 0,8 = 75840 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_4 = 553160 \text{ kg}$$

### W5 :

Beban mati :

1. Kolom	$= 2400 \times 3,6 \times 0,45 \times 0,45 \times 37$	$= 64735,2 \text{ kg}$
2. B1	$= 2400 \times 7 \times 0,45 \times 0,3 \times 17$	$= 38556 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 1,8 \times 0,45 \times 0,3 \times 9$	$= 5248,8 \text{ kg}$
	$= 2400 \times 4,25 \times 0,45 \times 0,3 \times 1$	$= 1377 \text{ kg}$
3. B2	$= 2400 \times 3 \times 0,3 \times 0,25 \times 33$	$= 17820 \text{ kg}$
4. B.anak1	$= 2400 \times 3 \times 0,3 \times 0,25 \times 13$	$= 5616 \text{ kg}$
5. B.anak2	$= 2400 \times 1,5 \times 0,3 \times 0,2 \times 12$	$= 2592 \text{ kg}$
6. B.kant1	$= 2400 \times 1,2 \times 0,3 \times 0,25 \times 20$	$= 4320 \text{ kg}$
7. B.kant2	$= 2400 \times 1,5 \times 0,3 \times 0,2 \times 12$	$= 2592 \text{ kg}$
8. Pelat	$= 2400 \times 0,12 \times 343,45$	$= 98913,6 \text{ kg}$
9. Dinding	$= 250 \times 3,6 \times 231,575$	$= 208417 \text{ kg}$
10. Spesi	$= 21 \times 343,45$	$= 7212,45 \text{ kg}$
11. Langit-langit	$= 11 \times 343,45$	$= 3777,95 \text{ kg}$
12. Penggantung	$= 7 \times 343,45$	$= 2404,15 \text{ kg}$
13. Instalasi listrik	$= 40 \times 343,45$	$= 13738 \text{ kg}$
		$= 477320 \text{ kg}$

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 15,8 \times 24 \times 0,8 = 75840 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_5 = 553160 \text{ kg}$$

### W6 :

Beban mati :

1. Kolom	$= 2400 \times 3,6 \times 0,45 \times 0,45 \times 37$	$= 64735,2 \text{ kg}$
----------	---	------------------------

2. B1	= 2400 x 7 x 0,45 x 0,3 x 17	= 38556	kg
	= 2400 x 1,8 x 0,45 x 0,3 x 9	= 5248,8	kg
	= 2400 x 4,25 x 0,45 x 0,3 x 1	= 1377	kg
3. B2	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 33	= 17820	kg
4. B.anak1	= 2400 x 3 x 0,3 x 0,25 x 13	= 5616	kg
5. B.anak2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592	kg
6. B.kant1	= 2400 x 1,2 x 0,3 x 0,25 x 20	= 4320	kg
7. B.kant2	= 2400 x 1,5 x 0,3 x 0,2 x 12	= 2592	kg
8. Pelat	= 2400 x 0,12 x 39,15	= 11275,2	kg
	= 2400 x 0,12 x 7,8	= 2246,4	kg
9. Dinding	= 250 x 1,8 x 231,575	= 104208	kg
	= 250 x 1,8 x 45,4	= 20430	kg
10. Spesi	= 21 x 46,95	= 985,95	kg
11. Langit-langit	= 11 x 46,95	= 516,45	kg
12. Penggantung	= 7 x 46,95	= 328,65	kg
13. Instalasi listrik	= 40 x 46,95	= 1878	kg
		= 284726	kg

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup} &= 250 \times 15,8 \times 21 \times 0,8 &= 66360 &\text{ kg} \\
 &= 100 \times 13,05 \times 3 \times 0,8 &= 3132 &\text{ kg} \\
 \Sigma W_6 &= 69492 &\text{ kg}
 \end{aligned}$$

### W7 :

Beban mati :

1. Kolom	= 2400 x 1,8 x 0,45 x 0,45 x 35	= 30618	kg
2. Kuda-kuda	= 10,62 x 21,1 x 16	= 3585	kg
3. Gording	= 21 x 5,5 x 16	= 1848	kg
4. Kolom pendek	= 0,5 x 31,5 x 16	= 252	kg
		= 36303	kg

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup} &= 100 \times 15,8 \times 21 \times 0,8 &= 26544 &\text{ kg} \\
 \Sigma W_7 &= 62847,3 &\text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$W \text{ total} = \Sigma W_0 + \Sigma W_1 + \Sigma W_2 + \Sigma W_3 + \Sigma W_4 + \Sigma W_5 + \Sigma W_6 + \Sigma W_7$$

$$\begin{aligned}
 &= 4.495,5 \text{ kg} + 487.644 \text{ kg} + 553.160 \text{ kg} + 553.160 \text{ kg} + \\
 &553.160 \text{ kg} + 69.492 \text{ kg} + 62.847,3 \text{ kg} \\
 &= 3.121.847,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perkiraan waktu getar struktur (T)

$$\begin{aligned}
 T &= 0,0731 \times h^{3/4} \\
 &= 0,0731 \times 23^{3/4} \\
 &= 0,767 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Bangunan terletak pada zona gempa 4 dan bertanah lunak sehingga nilai faktor respons gempa :

$$C = 0,85$$

Dengan nilai faktor keutamaan berdasarkan fungsi bangunan

$$I = 1,0$$

Faktor reduksi gempa (R) = 5,5

Gaya geser dasar gempa (V)

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{C \times I}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0,85 \times 1}{5,5} \times 3.121.847,8 \\
 &= 215.691 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya geser dasar gempa yang disebarkan pada sepanjang ketinggian bangunan (F)

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum (W_i \times h_i)} \times V$$

Dimana :

$W_0 \times h_0$	$= 4.495,5 \text{ kg} \times 0$	$= 0$	kg
$W_1 \times h_1$	$= 487.644 \text{ kg} \times 2$	$= 975288$	kg
$W_2 \times h_2$	$= 553.160 \text{ kg} \times 5,6$	$= 3097700$	kg
$W_3 \times h_3$	$= 553.160 \text{ kg} \times 9,2$	$= 5089078$	kg
$W_4 \times h_4$	$= 553.160 \text{ kg} \times 12,8$	$= 7080456$	kg
$W_5 \times h_5$	$= 553.160 \text{ kg} \times 16,4$	$= 9071835$	kg

$$\begin{array}{rcl}
 W_6 \times h_6 & = 69.492 \text{ kg} \times 20 & = 7084368 \text{ kg} \\
 W_7 \times h_7 & = 62.847,3 \text{ kg} \times 23,6 & = 1483197 \text{ kg} \\
 \Sigma(W \times h) & & = 33881921 \text{ kg}
 \end{array}$$

**Gaya geser gempa yang disebarkan di sepanjang tingkat bangunan (Fi) :**

$$F_0 = \frac{W_0 \times h_0}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{0}{33881921} \times 215.691 = 0 \quad \text{kg}$$

$$F_1 = \frac{W_1 \times h_1}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{975288}{33881921} \times 215.691 = 6.209 \quad \text{kg}$$

$$F_2 = \frac{W_2 \times h_2}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{3097700}{33881921} \times 215.691 = 19.720 \quad \text{kg}$$

$$F_3 = \frac{W_3 \times h_3}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{5089078}{33881921} \times 215.691 = 32.397 \quad \text{kg}$$

$$F_4 = \frac{W_4 \times h_4}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{7080456}{33881921} \times 215.691 = 45.074 \quad \text{kg}$$

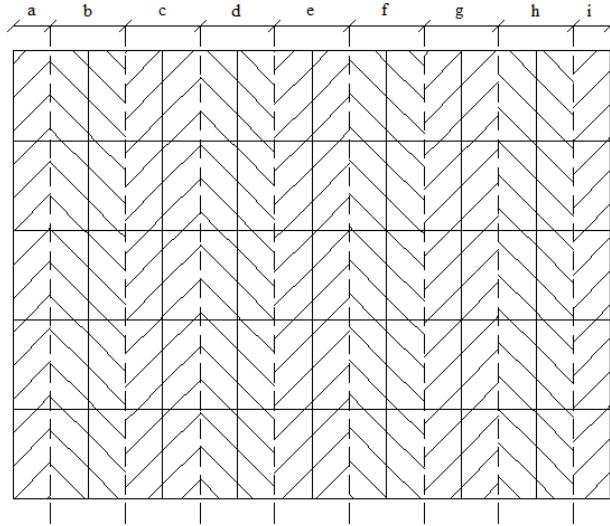
$$F_5 = \frac{W_5 \times h_5}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{9071835}{33881921} \times 215.691 = 57.751 \quad \text{kg}$$

$$F_6 = \frac{W_6 \times h_6}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{7084368}{33881921} \times 215.691 = 45.099 \quad \text{kg}$$

$$F_7 = \frac{W_7 \times h_7}{\Sigma(W \times h)} \times V = \frac{1483197}{33881921} \times 215.691 = 9.442 \quad \text{kg}$$

**Gaya geser dasar yang dimasukkan pada setiap joint hubungan balok kolom :**

Gempa arah X



Gambar 4.53 Input Gempa Arah X

- Lantai 1
  - a & i  $= \frac{3,5}{15,8} \times 6209 = 1.375 \text{ Kg}$
  - b,c,d,e,f,g,h  $= \frac{4,4}{15,8} \times 6209 = 1.729 \text{ Kg}$
- Lantai 2
  - a & i  $= \frac{3,5}{15,8} \times 19720 = 4.368 \text{ kg}$
  - b,c,d,e,f,g,h  $= \frac{4,4}{15,8} \times 19720 = 5.492 \text{ kg}$
- Lantai 3
  - a & i  $= \frac{3,5}{15,8} \times 32397 = 7.177 \text{ kg}$
  - b,c,d,e,f,g,h  $= \frac{4,4}{15,8} \times 32397 = 9.022 \text{ kg}$
- Lantai 4

$$a \text{ \& i} = \frac{3,5}{15,8} \times 45074 = 9.985 \text{ kg}$$

$$b,c,d,e,f,g,h = \frac{4,4}{15,8} \times 45074 = 12.552 \text{ kg}$$

- Lantai 5

$$a \text{ \& i} = \frac{3,5}{15,8} \times 57751 = 12.793 \text{ kg}$$

$$b,c,d,e,f,g,h = \frac{4,4}{15,8} \times 57751 = 16.083 \text{ kg}$$

- Lantai 6

$$a \text{ \& i} = \frac{3,5}{15,8} \times 45099 = 9.990 \text{ kg}$$

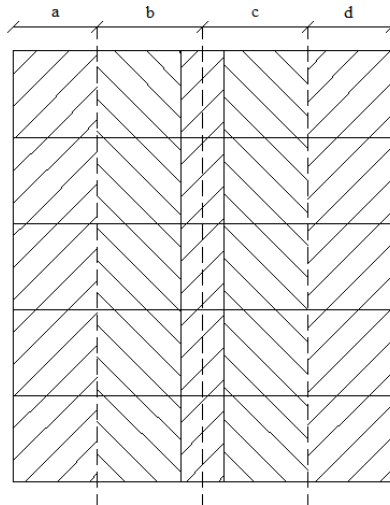
$$b,c,d,e,f,g,h = \frac{4,4}{15,8} \times 45099 = 12.559 \text{ kg}$$

- Lantai 7

$$a \text{ \& i} = \frac{3,5}{15,8} \times 9442 = 2.092 \text{ kg}$$

$$b,c,d,e,f,g,h = \frac{4,4}{15,8} \times 9442 = 2.629 \text{ kg}$$

Gempa arah Y



Gambar 4.54 Input Gempa Arah Y

- Lantai 1
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 6209 = 388 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 6209 = 776 \text{ kg}$
- Lantai 2
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 19720 = 1.232 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 19720 = 2.465 \text{ kg}$
- Lantai 3
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 32397 = 2.025 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 32397 = 4.050 \text{ kg}$
- Lantai 4
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 45074 = 2.817 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 45074 = 5.634 \text{ kg}$
- Lantai 5
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 57751 = 3.609 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 57751 = 7.219 \text{ kg}$
- Lantai 6
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 45099 = 2.819 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 45099 = 5.637 \text{ kg}$
- Lantai 7
  - a & d  $= \frac{1,5}{24} \times 9442 = 590 \text{ kg}$
  - b & c  $= \frac{3}{24} \times 9442 = 1.180 \text{ kg}$

#### 4.5.4 Kontrol Simpang Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat ( *drift* ) adalah selisih pergoyangan pada suatu tingkat dengan tingkat dibawahnya. Simpangan antar tingkat ini harus diperhitungkan dalam dua kondisi yaitu kondisi batas layan dan kondisi batas ultimit.



#### 4.5.4.1 Kinerja Batas Layan

Untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping juga untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni maka simpangan antar tingkat haruslah diperhitungkan. Berdasarkan *SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.2*, maka simpangan yang terjadi tidak boleh melampaui  $\frac{0,03}{R}$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan

atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. Berikut adalah tinjauan kinerja batas layan gedung :

Tabel 4.4 Hasil Total Kinerja Batas Layan Gedung

1	TABLE: Joint Displacements								
2	Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
7406	5735	QUAKE X	LinStatic	0,02143	-0,001348	0,000341	-0,000079	0,00091	0,000364
7407	5735	QUAKE Y	LinStatic	0,000328	0,026697	0,00092	-0,001174	-0,000177	0,000416
7408	5736	QUAKE X	LinStatic	0,021222	-0,001346	0,000261	-0,000119	0,000831	0,000191
7409	5736	QUAKE Y	LinStatic	0,000174	0,026708	0,000183	-0,000849	-0,000169	-0,00001422
7410	5737	QUAKE X	LinStatic	0,021056	-0,00135	0,000102	-0,000336	0,000816	0,000231
7411	5737	QUAKE Y	LinStatic	0,000031	0,026699	-0,000572	-0,001186	-0,000073	0,000382
7412	5738	QUAKE X	LinStatic	0,021489	-0,0011	-0,000169	-0,000041	0,000425	0,000356
7413	5738	QUAKE Y	LinStatic	0,000105	0,027273	0,000282	-0,001134	-0,000091	0,00023
7414	4469	QUAKE X	LinStatic	0,020004	-0,002231	0,00105	0,000082	-0,00225	0,000074
7415	4469	QUAKE Y	LinStatic	-0,000121	0,02478	0,000738	-0,000341	-0,001202	-0,000054
7416	4470	QUAKE X	LinStatic	0,01988	-0,002232	0,001049	-0,000051	-0,00114	0,00015
7417	4470	QUAKE Y	LinStatic	-0,000045	0,024776	0,000267	-0,000301	-0,000652	-0,0001
7418	4471	QUAKE X	LinStatic	0,019871	-0,002323	0,000457	0,000023	-0,000686	0,000111
7419	4471	QUAKE Y	LinStatic	-0,00005	0,024823	-0,000139	0,000202	-0,000471	-0,000052
7420	4472	QUAKE X	LinStatic	0,019754	-0,002234	0,001024	0,000016	-0,00117	0,000134
7421	4472	QUAKE Y	LinStatic	0,000019	0,024778	0,000077	-0,000294	0,000146	-0,000023
7422	4473	QUAKE X	LinStatic	0,019762	-0,002323	0,000411	-0,000087	-0,0007	0,000118
7423	4473	QUAKE Y	LinStatic	0,000018	0,024821	0,000182	0,000193	0,000072	-0,000091
7424	4474	QUAKE X	LinStatic	0,01963	-0,002231	0,001016	-0,000108	-0,002147	0,000092
7425	4474	QUAKE Y	LinStatic	0,000077	0,024777	-0,0004	-0,000378	0,000489	-0,000108
7426	4475	QUAKE X	LinStatic	0,019887	-0,00215	0,002031	-0,00022	-0,001826	0,000096
7427	4475	QUAKE Y	LinStatic	-0,000043	0,024729	0,00073	-0,000799	-0,000814	-0,000027
7428	4476	QUAKE X	LinStatic	0,019747	-0,00215	0,00201	0,000194	-0,001787	0,00012
7429	4476	QUAKE Y	LinStatic	0,000019	0,024736	-0,000004315	-0,000741	0,000189	-0,000107
7430		MAX		0,030407	0,048272				
7431		MIN		-0,001705	-0,003303				

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hasilbatas layan gedung maksimum adalah 0,05 m = 50 mm

Syarat:

$$30 \text{ mm} < \left( \frac{0,03}{R} \times \text{tinggi gedung} \right)$$

30 mm <  $(\frac{0,03}{5,5} \times 18 \text{ m})$  atau sama dengan 30 mm  
 30 mm < 90 mm (**Memenuhi**)

#### 4.5.4.2 Kinerja Batas Ultimate

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi gedung diambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung yang dipisah dengan sela pemisah ( sela dilatasi ).

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur bangunan gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur bangunan gedung menurut pasal 8.2.1 tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat bersangkutan. (**SNi 03-1726-2002 pasal 8.2.2**. Berikut adalah hasil tinjauan batas ultimit gedung :

Tabel 4.5 Hasil Total Kinerja Batas Ultimit Gedung

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	TABLE: Joint Displacements								
3	Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
74240	4475	0,9Dl-0,3Ex+1Ey	Combination	-0,005427	0,025552	-0,004759	-0,000705	0,00248	-0,000019
74241	4475	0,9Dl-0,3Ex-1Ey	Combination	-0,005341	-0,023906	-0,006219	0,000893	0,004108	0,000036
74242	4475	0,9Dl+1,3W	Combination	0,000824	-0,000003486	-0,001649	-0,000016	0,000872	0,000016
74243	4475	1,2 D + 1 L	Combination	0,000643	0,000151	-0,005167	0,000035	0,003046	0,000043
74244	4476	1,4 Dl	Combination	0,000857	0,000277	-0,007595	-0,000055	0,004259	0,000068
74245	4476	1,2 Dl + 1,6 Ll	Combination	0,000892	0,000392	-0,008089	0,000003683	0,004706	0,000052
74246	4476	1,2Dl+1Ll+1Ex+0,3Ey	Combination	0,020585	0,005605	-0,005489	-0,000044	0,00258	0,000142
74247	4476	1,2Dl+1Ll+1Ex+0,3Ey	Combination	0,020574	-0,009236	-0,005486	0,000401	0,002466	0,000207
74248	4476	1,2Dl+1Ll+1Ex+0,3Ey	Combination	-0,018908	0,009905	-0,009508	-0,000432	0,006154	-0,000098
74249	4476	1,2Dl+1Ll+1Ex+0,3Ey	Combination	-0,01892	-0,004937	-0,009506	0,000013	0,006041	-0,000034
74250	4476	1,2Dl+1Ll+0,3Ex+1Ey	Combination	0,006776	0,024425	-0,006899	-0,000698	0,003963	-0,000017
74251	4476	1,2Dl+1Ll+0,3Ex+1Ey	Combination	0,006758	-0,025046	-0,00689	0,000784	0,003585	0,000198
74252	4476	1,2Dl+1Ll+0,3Ex+1Ey	Combination	-0,005072	0,025715	-0,008104	-0,000815	0,005036	-0,000089
74253	4476	1,2Dl+1Ll+0,3Ex+1Ey	Combination	-0,00511	-0,023756	-0,008096	0,000667	0,004657	0,000125
74254	4476	0,9Dl+1Ex+0,3Ey	Combination	0,020304	0,005449	-0,002874	-0,000064	0,001008	0,000132
74255	4476	0,9Dl+1Ex+0,3Ey	Combination	0,020292	-0,009392	-0,002872	0,000381	0,000894	0,000196
74256	4476	0,9Dl+1Ex+0,3Ey	Combination	-0,01919	0,009749	-0,006894	-0,000452	0,004582	-0,000109
74257	4476	0,9Dl+1Ex+0,3Ey	Combination	-0,019201	-0,005092	-0,006891	-0,000007381	0,004468	-0,000045
74258	4476	0,9Dl+0,3Ex+1Ey	Combination	0,006494	0,024269	-0,004284	-0,000718	0,002391	-0,000028
74259	4476	0,9Dl+0,3Ex+1Ey	Combination	0,006456	-0,025202	-0,004276	0,000764	0,002012	0,000187
74260	4476	0,9Dl+0,3Ex+1Ey	Combination	-0,005354	0,025559	-0,00549	-0,000893	0,003464	-0,0001
74261	4476	0,9Dl+0,3Ex+1Ey	Combination	-0,005392	-0,023912	-0,005481	0,000647	0,003085	0,000115
74262	4476	0,9Dl+1,3W	Combination	0,000869	-0,000003374	-0,001643	0,000027	0,000861	0,000014
74263	4476	1,2 D + 1 L	Combination	0,000609	0,000151	-0,005163	-0,000027	0,003026	0,000047
74264			MAX	0,040858	0,047891				
74265			MIN	-0,040862	-0,049324				

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hasil batas layan gedung maksimum adalah  $0,054 \text{ m} = 54 \text{ mm}$

Syarat:

$$40 \text{ mm} < (0,02 \times \text{tinggi gedung})$$

$$40 \text{ mm} < 0,02 \times 18 \text{ m}$$

$$40 \text{ mm} < 360 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

## 4.6 Perhitungan Balok

### 4.6.1 Perhitungan Penulangan Balok Induk Memanjang

Perhitungan tulangan balok induk B1 (30/45) As F (1-2) elevasi  $\pm 7.20$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

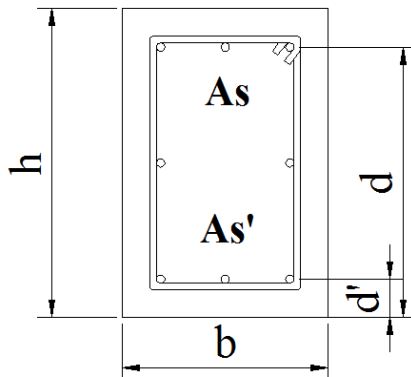
- Data-data perencanaan tulangan balok :
 

Tipe balok	: B1 (30/45)
As balok	: F (1-2)
Bentang balok (L balok)	: 7000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 450 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3600 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 450 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 450 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur ( $\emptyset$ lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$ geser)	: 12 mm

- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm  
[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.1]
- Jarak spasi tulangan antar lapis : 25 mm  
[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.2]
- Tebal selimut beton (t decking) : 40 mm  
[SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1]
- Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
[SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3)]
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,8  
[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1)]
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75  
[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
- Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ ) : 0,75  
[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul.lentur} \\
 &= 450 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 22) \\
 &= 387 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul.lentur} \\
 &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 22) \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.55 Tinggi efektif balok

### Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

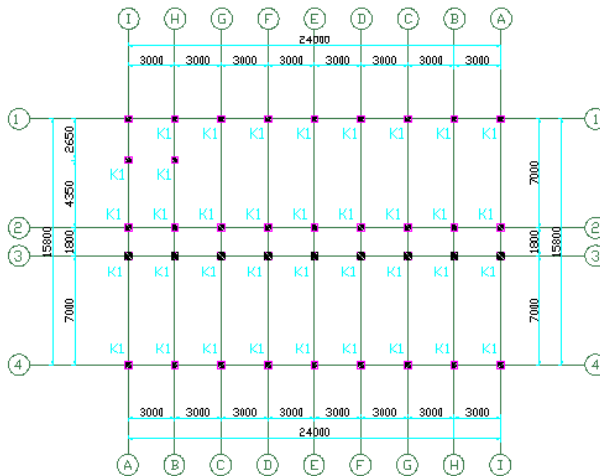
Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi Beban Gravitasi :

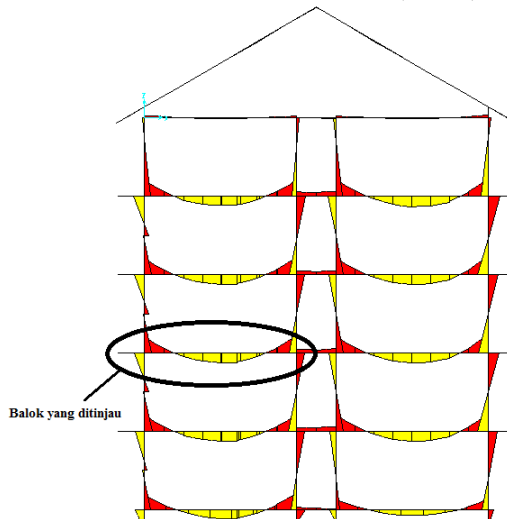
- ⇒ Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

Kombinasi Beban Gempa :

- ⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$  dan  
 $0,9 \text{ DL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$
- ⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$  dan  
 $0,9 \text{ DL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$
- ⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$  dan  
 $0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$
- ⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$  dan  
 $0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$



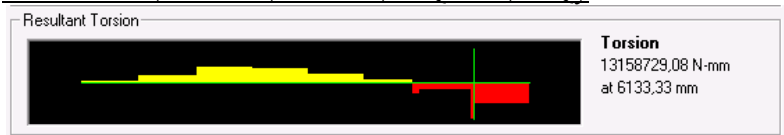
Gambar 4.56 Denah Posisi Balok B1 (30/45) Pada As F (1-2)



Gambar 4.57 Posisi Balok B1 (30/45) As F (1-2)

Hasil Output Diagram Torsi

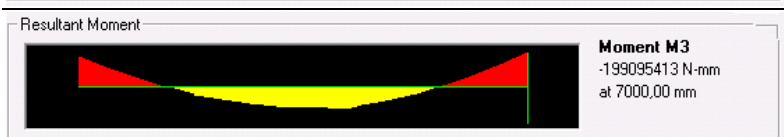
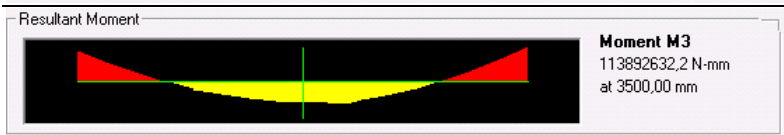
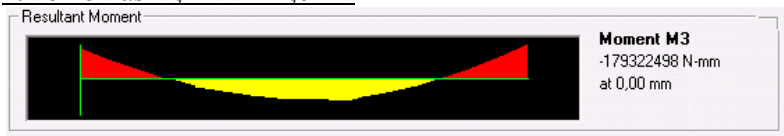
Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx – 0,3 EQy



Momen puntir : 13.151.498 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

1.Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL



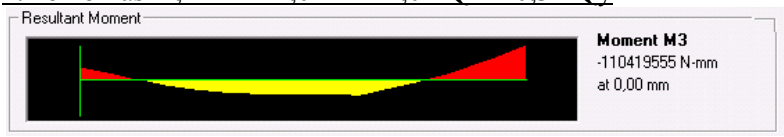
Akibat kombinasi :

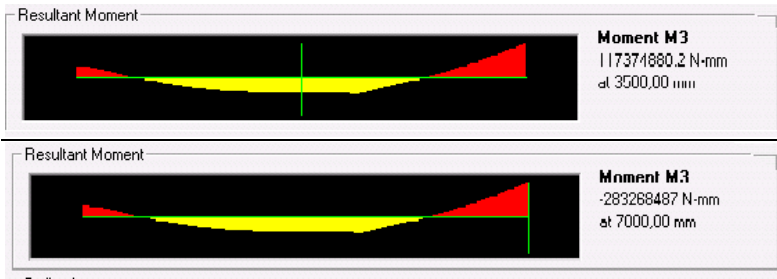
Momen tumpuan kiri : -179.322.498 N.mm

Momen lapangan : 113.892.632,2 N.mm

Momen tumpuan kanan : -199.095.413 N.mm

2.Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx + 0,3 EQy





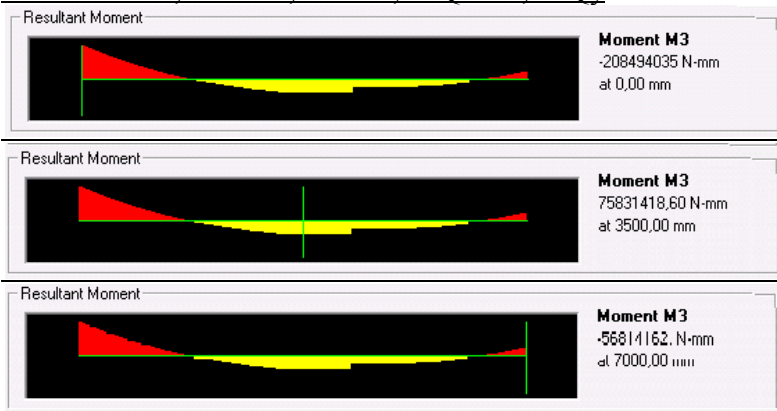
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -110.419.555 N.mm

Momen lapangan : 117.374.880,2 N.mm

Momen tumpuan kanan : -283.268.487 N.mm

### 3. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx + 0,3 EQy



Akibat kombinasi :

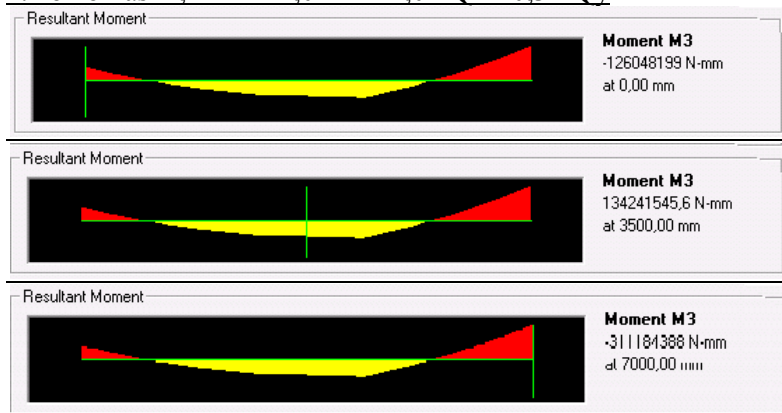
Momen tumpuan kiri : -208.494.035 N.mm

Momen lapangan : 75.831.418,6 N.mm

Momen tumpuan kanan : -56.814.162 N.mm



#### 4. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx - 0,3 EQy



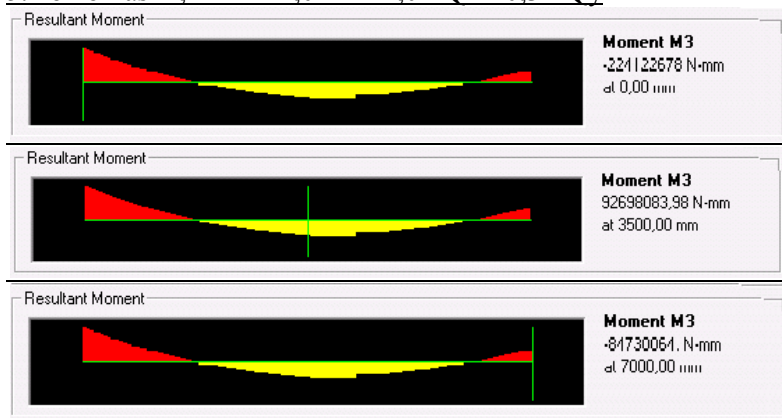
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 126.048.199 N.mm

Momen lapangan : 134.241.545,6 N.mm

Momen tumpuan kanan : 311.184.388 N.mm

#### 5. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx - 0,3 EQy



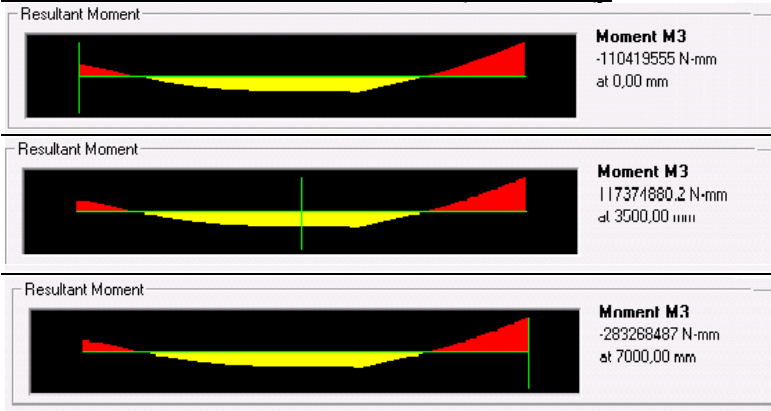
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -224.122.678 N.mm

Momen lapangan : 92.698.083,98 N.mm

Momen tumpuan kanan : -84.730.064 N.mm

### 6. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQx + 1,0 EQy



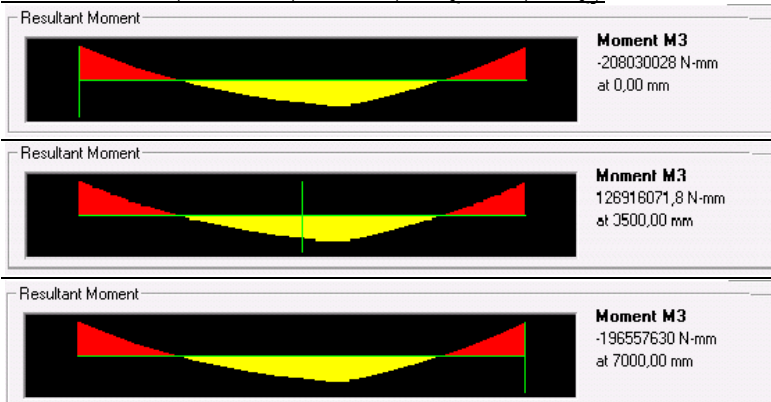
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -126.512.206 N.mm

Momen lapangan : 83.156.892,38 N.mm

Momen tumpuan kanan : -171.440.921 N.mm

### 7. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQx + 1,0 EQy



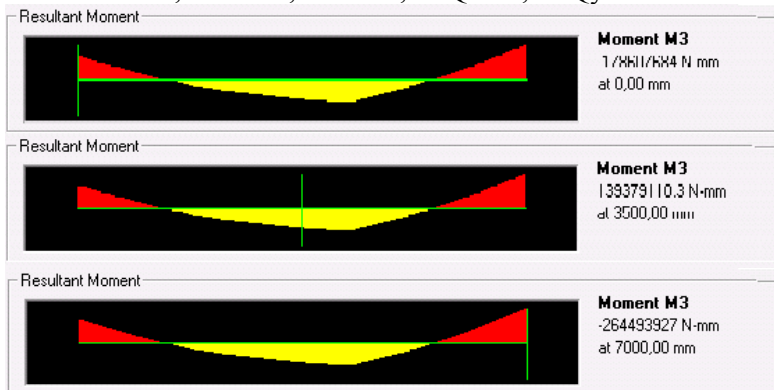
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -155.934.549 N.mm

Momen lapangan : 70.693.853,89 N.mm

Momen tumpuan kanan : -103.504.624 N.mm

### 8. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQx - 1,0 EQy



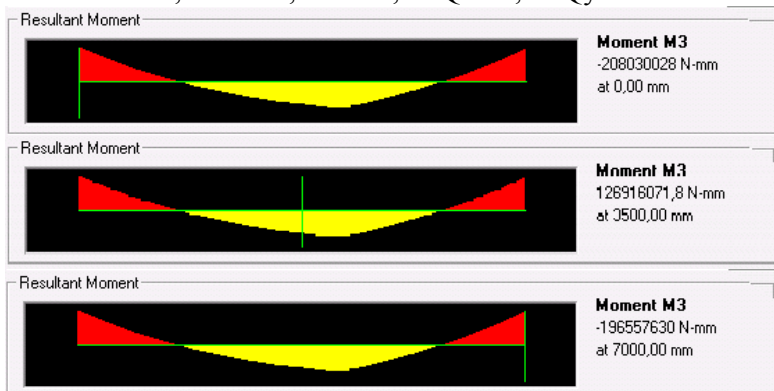
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -178.607.684 N.mm

Momen lapangan : 139.379.110,3 N.mm

Momen tumpuan kanan : -264.493.927 N.mm

### 9. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQx - 1,0 EQy



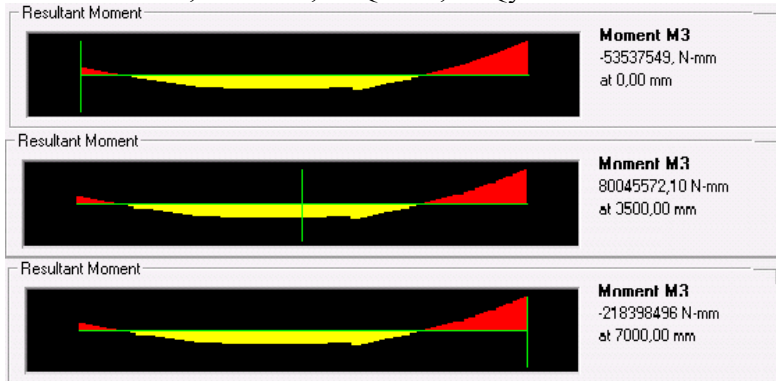
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -208.030.028 N.mm

Momen lapangan : 126.916.071,8 N.mm

Momen tumpuan kanan : -196.557.630 N.mm

### 10. Kombinasi 0,9 DL + 1,0 EQ<sub>x</sub> + 0,3 EQ<sub>y</sub>



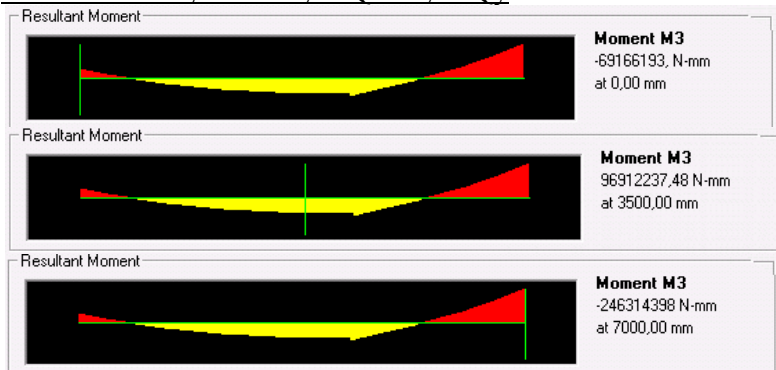
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -53.537.549 N.mm

Momen lapangan : 80.045.572,10 N.mm

Momen tumpuan kanan : -218.398.496 N.mm

### 11. Kombinasi 0,9 DL + 1,0 EQ<sub>x</sub> - 0,3 EQ<sub>y</sub>



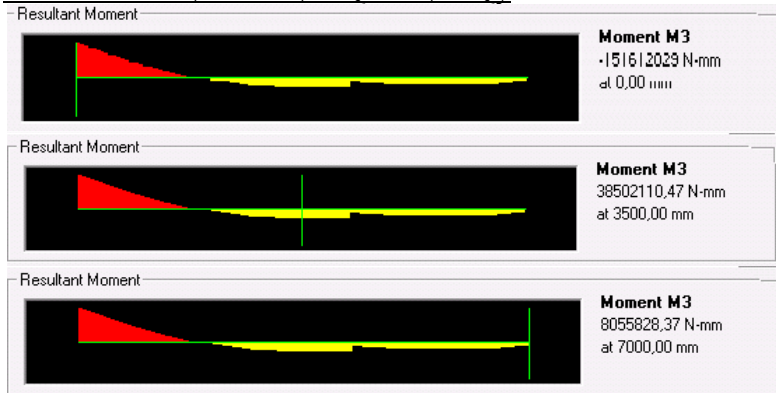
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -69.166.193 N.mm

Momen lapangan : 96.912.237,48 N.mm

Momen tumpuan kanan : -246.314.398 N.mm

### 12. Kombinasi $0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$



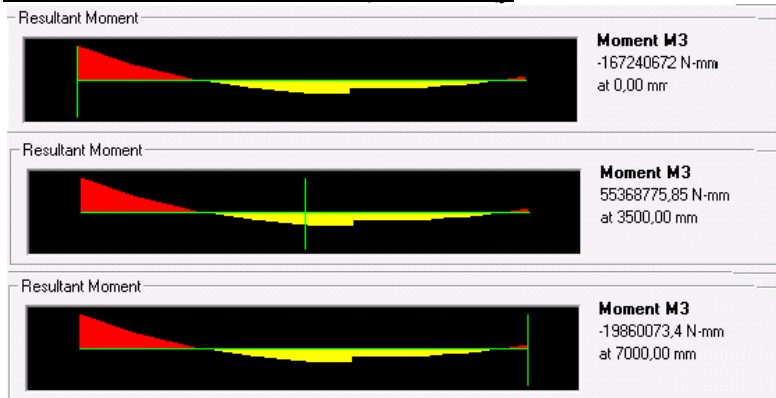
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -151.612.029 N.mm

Momen lapangan : 38.502.110,47 N.mm

Momen tumpuan kanan : 8.055.828,37 N.mm

### 13. Kombinasi $0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$



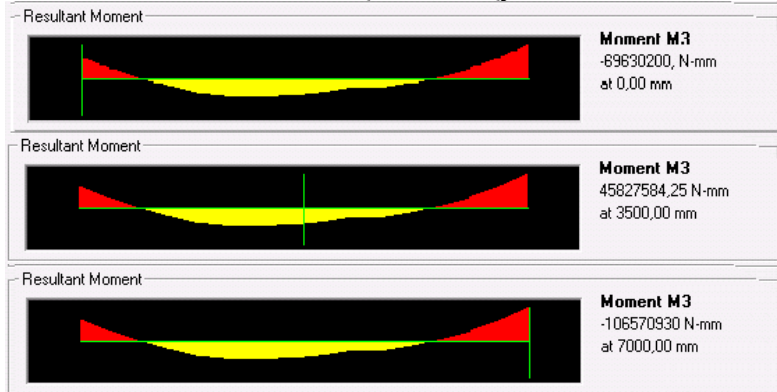
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -167.240.672 N.mm

Momen lapangan : 55.368.775,85 N.mm

Momen tumpuan kanan : -19.860.073,4 N.mm

#### 14. Kombinasi 0,9 DL + 0,3 EQ<sub>x</sub> + 1,0 EQ<sub>y</sub>



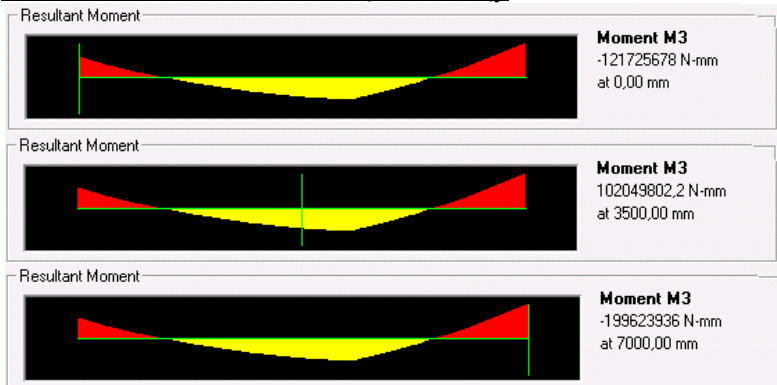
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -69.630.200 N.mm

Momen lapangan : 45.827.584,25 N.mm

Momen tumpuan kanan : -106.570.930 N.mm

#### 15. Kombinasi 0,9 DL + 0,3 EQ<sub>x</sub> - 1,0 EQ<sub>y</sub>



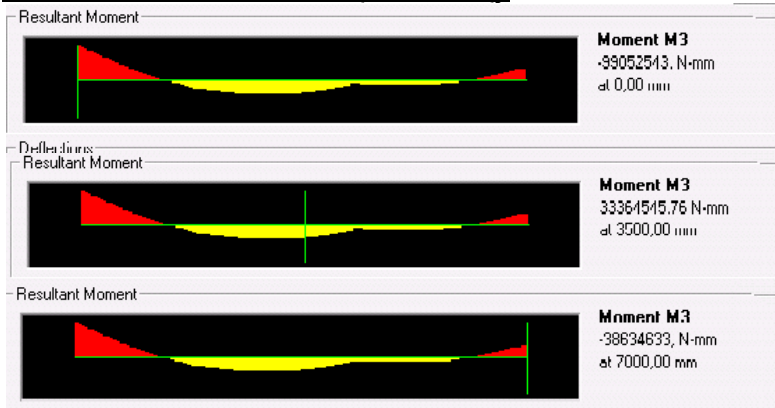
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -121.725.678 N.mm

Momen lapangan : 102.049.802,2 N.mm

Momen tumpuan kanan : -199.623.936 N.mm

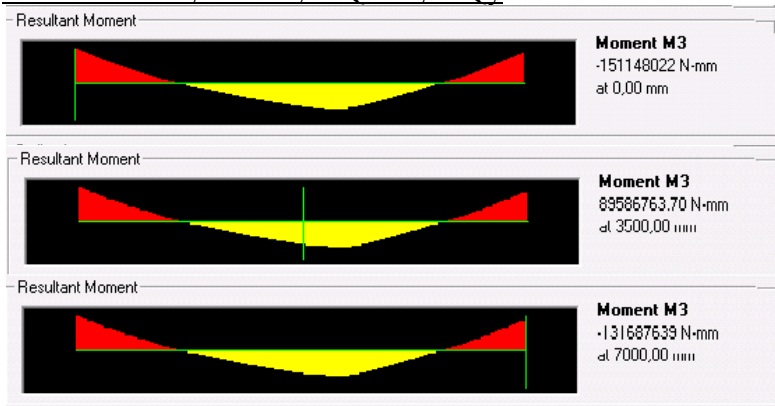
### 16. Kombinasi 0,9 DL - 0,3 EQx + 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -99.052.543 N.mm  
 Momen lapangan : 33.364.545,76 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -38.634.633 N.mm

### 17. Kombinasi 0,9 DL - 0,3 EQx - 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -151.148.022 N.mm  
 Momen lapangan : 89.586.763,7 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -131.687.639 N.mm

Untuk perhitungan tulangan lentur balok diambil momen terbesar dari tujuh belas kombinasi pembebanan di atas :

Tumpuan kiri :

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL – 1,0EQx – 0,3EQy

$Mu_{tumpuan} = 224.122.678 \text{ Nmm}$

Lapangan :

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL + 0,3EQx – 1,0EQy

$Mu_{tumpuan} = 139.379.110,3 \text{ Nmm}$

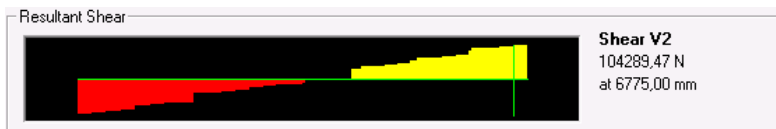
Tumpuan kanan :

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL + 1,0EQx – 0,3EQy

$Mu_{tumpuan} = 311.184.388 \text{ Nmm}$

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

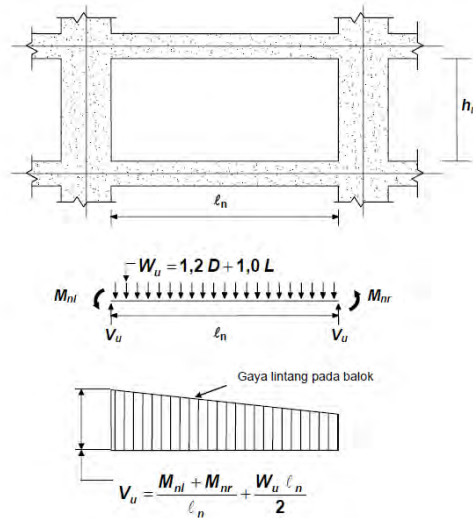
Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL, dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor  $V_u = 104.289 \text{ N}$

**Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**

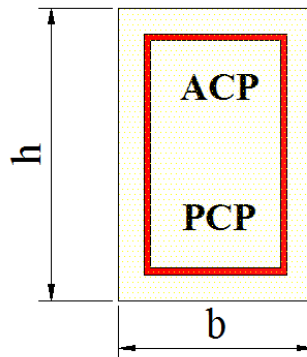




Gambar 4.58 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/45



Gambar 4.59 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 135.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) \\ &= 1.500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (300 - (2 \cdot 40) - 12) \times (450 - (2 \cdot 40) - 12) \\ &= 208 \text{ mm} \times 358 \text{ mm} \\ &= 74.464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(300 - (2 \cdot 40) - 12) + (450 - (2 \cdot 40) - 12)] \\ &= 2 \times [208 \text{ mm} + 358 \text{ mm}] \\ &= 2 \times 570 \text{ mm} \\ &= 1.132 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **4.6.1.1 Perhitungan Penulangan Puntir**

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP 2000 diperoleh momen puntir :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0EQx - 0,3EQy

$$T_u = 13.151.498,47 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{13.151.498,47}{0,75} \\ &= 17.535.331 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser Ultimate

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL

$$V_u = 104.289 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$= \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.1(a)]

$$= \frac{0.75 \sqrt{30} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)}{12}$$

$$= 4.159.268,17 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar :

$$= \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.2.2(a)]

$$= \frac{0.75 \sqrt{30} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)}{3}$$

$$= 16.637.072,7 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \quad \text{maka tulangan puntir diabaikan.}$$

$$T_u > \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \quad \text{maka memerlukan tulangan puntir.}$$

$$13.151.498 \text{ Nmm} > 4.159.268,17 \text{ Nmm} \quad \textbf{(memerlukan tulangan puntir)}$$

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d}{b \times d} + \left( \frac{2 \times \sqrt{f_c'}}{3} \right) \right)$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(1).a]

$$\sqrt{\left(\frac{104289}{300 \times 450}\right)^2 + \left(\frac{13151498 \times 1132}{1,7 \times 74464^2}\right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 450}{300 \times 450} + \left( \frac{2 \times \sqrt{30}}{3} \right) \right)$$

$$1,817 \leq 3,423 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \times \cot^2 \theta$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(7)]

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yv}}{s} \times \cot \theta$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(6)]

Dimana :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 74.464 \\ &= 63.294 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{17.535.331}{2 \times 63.294 \times 240 \times \cot 45} \\ \frac{A_t}{s} &= 0,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= 0,57 \times 1132 \times \left( \frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 \\ &= 392,017 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari :

$$A_{l \min} = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 f_{yt}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) \times Ph \times \left( \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right)$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.5.(3)]

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= \frac{5\sqrt{30} \cdot 135.000}{12 \times 400} - (0,57) \times 1132 \times \left( \frac{240}{400} \right) \\ &= 378,218 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \min} \text{ maka gunakan } A_{l \min}$$

$$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \min} \text{ maka gunakan } A_{l \text{ perlu}}$$

$$392,017 \text{ mm}^2 \geq 378,218 \text{ mm}^2 \text{ (maka pakai } A_{l \text{ perlu}})$$

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 392,017 mm<sup>2</sup>

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{392,017}{4} = 98,004 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka, sisi atas dan bawah balok masing-masing mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $98,004 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 98,004 = 196 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan tulangan puntir}}$$

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = \frac{196}{113,097}$$

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = 1,71 \approx 2 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir 2 Ø 12

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang puntir}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan tulangan puntir} \\ &= 2 \times 113,097 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$226,19 \text{ mm}^2 \geq 196 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, pada tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan dipasang tulangan puntir sebesar 2D12.

#### 4.6.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur

##### ➤ DAERAH TUMPUAN KIRI

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
 $1,2DL + 1,0LL - 1,0EQ_x - 0,3EQ_y$

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 224.122.678 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{224.122.678 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 280.153.347,5 \text{ N.mm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 387$$

$$= 233,2 \text{ mm}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2]

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 233,2 \text{ mm} \\ &= 174,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 110 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 110 \\ &= 715.275 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 110}{400} \\ &= 1.788,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\ &= 1788,18 \times 400 \times \left( 387 - \frac{0,85 \times 110}{2} \right) \\ &= 243.372.318,8 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan



$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 280.153.347,5 \text{ N.mm} - 243.372.318,8 \text{ N.mm} \\
 &= 36.781.028,75 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 36.781.028,75 \text{ N.mm} > 0$  (perlu tulangan lentur tekan)

### ➤ **Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap**

Gaya tekan dan tarik tulangan lentur rangkap

$$C_{s'} = T_2 = \frac{M_{ns_{\text{tumpuan}}}}{d - d'}$$

$$T_2 = \frac{36.781.028,75 \text{ N.mm}}{387 - 63}$$

$$T_2 = 113.521,69 \text{ N}$$

Cek Kondisi Tulangan Lentur Tekan

$$f_{s'} = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \times 600$$

$$f_{s'} = \left(1 - \frac{63}{110}\right) \times 600$$

$$f_{s'} = 256,36 \text{ MPa}$$

**Syarat :**

$f_{s'} \geq f_y \rightarrow$  leleh, maka  $f_{s'} = f_y$

$f_{s'} < f_y \rightarrow$  tidak leleh  $f_{s'} = f_{s'}$

$$f_{s'} < f_y$$

$256,36 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \rightarrow$  tidak leleh,

maka  $f_{s'} = 256,36 \text{ MPa}$

Luasan tulangan tekan perlu

$$As' = \frac{Cs'}{(fs' - 0,85 \times fc')}$$

$$As' = \frac{113.521,69 \text{ N}}{(256,36 - 0,85 \times 30)}$$

$$As' = 491,72 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan tarik tambahan

$$Ass = \frac{T_2}{fy}$$

$$Ass = \frac{113.521,69}{400}$$

$$Ass = 283,8 \text{ mm}^2$$

**Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik**

$$As = Asc + Ass$$

$$As = 1788,18 \text{ mm}^2 + 283,8 \text{ mm}^2$$

$$As = 2071,99 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2071,99 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$$n = 5,41 \text{ buah} \sim \text{dipakai 6 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 6 \times 380,13$$

$$= 2280,79 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$2280,79 \text{ mm}^2 > 2071,99 \text{ mm}^2$  (**memenuhi**)

**Luasan setelah ditambahkan puntir :**

Luasan puntir longitudinal yang disumbangkan pada tulangan lentur :

$$\frac{A_l}{4} = 98,004 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan puntir longitudinal :

$$\text{As perlu} = \text{As} + \frac{A_l}{4} = 2169,99 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 0,25 \times 3,14 \times (22)^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2169,99 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$n = 5,66$  buah ~ **dipakai 6 Buah**

Jadi, Tumpuan kiri balok B1 (30/45) memakai tulangan tarik 6D22.

**Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tekan**

$$\text{As}' = 491,72 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{\text{As}' \text{ perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{491,72 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$n = 1,29$  buah ~ **dipakai 2 Buah**

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan tulangan lentur} \\ &= 2 \times 380,13 \\ &= 760,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{ll} \text{As' pasang} & > \quad \text{As' perlu} \\ 760,26 \text{ mm}^2 & > \quad 491,72 \text{ mm}^2 \end{array}$$

**Luasan setelah ditambahkan puntir :**

Luasan puntir longitudinal yang disumbangkan pada tulangan lentur :

$$\frac{A_l}{4} = 98,004 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan puntir longitudinal :

$$\text{As perlu} = \text{As'} + \frac{A_l}{4} = 589,724 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned} \text{As' pakai} &= 0,25 \times 3,14 \times (22)^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{\text{As' perlu}}{\text{As' tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{589,724 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$n = 1,55$  buah ~ **dipakai 2 Buah**

Jadi, Tumpuan kiri balok B1 (30/45) memakai tulangan tekan 2D22.

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 6D22 dan tulangan tekan 1 lapis 2D22.*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (6 \times 22)}{6 - 1}$$

$$S_{maks} = 12,8 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$12,8 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm ( tidak memenuhi )}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan tarik belum terpenuhi ( $S_{\text{maks}} \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 36 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$36 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka, tulangan lentur balok B1 (30/45) untuk daerah tumpuan kiri dipasang :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis  
Lapis 1 = 4D22  
Lapis 2 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif

pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 6D22 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 2D22 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 2280,8 \text{ mm}^2$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 760,27 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 6 \text{ D22}$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2 \text{ D22}$$

### Cek momen nominal penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 6 D22} = 2280,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2 D22} = 760,27 \text{ mm}^2$$

$$a = \left( \frac{(\text{As pakai tul tarik} \times f_y) - (\text{As' pakai tul tekan} \times f_s')}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(2280,8 \times 400) - (760,27 \times 256,37)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 93,77 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 93,77 \\ &= 717.409,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan tulangan rangkap :

$$\begin{aligned} Cs' &= As'_{\text{pasang}} \times fs' \\ &= 760,27 \times 256,37 \\ &= 194.910,41 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang :

$$\begin{aligned} Mn &= Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + Cs' \times (d - d') \\ &= 717.409,2 \times \left( 387 - \frac{93,77}{2} \right) + 194.910,41 \times (387 - 63) \\ &= 307.152.623 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$Mn_{\text{pasang}} \geq Mn_{\text{perlu}} \rightarrow$  Perencanaan OK

$Mn_{\text{pasang}} \leq Mn_{\text{perlu}} \rightarrow$  Perencanaan Tidak OK

Kontrol

$Mn_{\text{pasang}} \geq Mn_{\text{perlu}}$

$307.152.623 \text{ N.mm} \geq 280.153.347 \text{ N.mm}$  (**memenuhi**)

### ➤ DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$1,2DL + 1,0LL + 0,3EQ_x - 1,0EQ_y$

$$Mu_{\text{lapangan}} = 139.379.110,3 \text{ N.mm}$$



Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{lapangan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{139.379.110,3 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 174.223.887,5 \text{ N.mm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 387$$

$$= 232,2 \text{ mm}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2]

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 232,2 \text{ mm} \\ &= 174,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 80 \end{aligned}$$

$$= 520.200 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 80}{400} \end{aligned}$$

$$= 1.788,18 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 1.788,18 \times 400 \times \left( 387 - \frac{0,85 \times 80}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 186.630.600 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 174.223.887,5 \text{ N.mm} - 186.630.600 \text{ N.mm} \\ &= -9.406.712 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -9.406.712 \text{ N.mm} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

$\Rightarrow$  **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 30}$$

$$= 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{30}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244\end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$= \frac{174.223.887,5 \text{ Nmm}}{300 \times (387)^2}$$

$$= 3,877 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,877}{400}} \right)$$

$$= 0,0105$$

**Syarat :**

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,0035 \leq 0,0105 \leq 0,0244 \rightarrow \textbf{memenuhi}$$

Maka, digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0,0105$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0105 \times 300 \times 387 \\ &= 1227,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1227,22 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22)^2}$$

$n = 3,22$  buah  $\sim$  **dipakai 4 Buah**

Luasan Tulangan Lentur Tekan (Pasang Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (22)^2 \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 1520,5 \text{ mm}^2 &> 1227,22 \text{ mm}^2 \textbf{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 1227,22 + 98 \\ &= 1325,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (Sisi Bawah)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1325,22 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22)^2}$$

$$n = 3,48 \text{ buah} \sim \text{dipakai 4 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan setelah ditambah luasan tambahan puntir (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (22)^2 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1325,22 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tarik

$$A_s' = 0 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + 98 \text{ mm}^2 \\ &= 98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{98 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22)^2}$$

$$n = 0,25 \text{ buah} \sim \text{dipakai 2 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (22)^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 760,27 \text{ mm}^2 &> 98 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Tekan

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D25*

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 36 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$36 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (dipakai tulangan 1 lapis)}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (dipakai tulangan 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/45) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 4D22
- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 4D22 \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1502,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D22 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1502,53 \text{ mm}^2$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 500,84 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tekan} = 4D22$$

$$\text{Tulangan tarik} = 2D22$$

$$a = \rho \cdot \left( \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \cdot d$$

$$a = 0,0105 \cdot \left( \frac{300}{0,85 \times 30} \right) \cdot 387$$

$$a = 79,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 79,5 \\ &= 608.212,34 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Mn_{\text{pasang}} = Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$



$$= 608.212,34 \times \left( 387 - \frac{0,85 \times 79,5}{2} \right)$$

$$= 211.200.250 \text{ N.mm}$$

Maka,

$$\phi M_{n_{\text{pasang}}} > M_{u_{\text{perlu}}}$$

$$0,8 \times 211.200.250 \text{ N.mm} > 151.974.852,7 \text{ N.mm}$$

$$299.874.068,1 \text{ N.mm} > 182.441.059 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk B1 (30/45) pada daerah lapangan dipakai tulangan tekan 4D22 dan tulangan tarik minimum 2D22 dengan susunan sebagai berikut :

- Tulangan tekan 1 lapis  
Lapis 1 : 4D22
- Tulangan tarik minimum 1 lapis  
Lapis 1 : 2D22

#### ➤ DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
1,2DL + 1,0LL + 1,0EQx – 0,3EQy

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 311.184.388 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_n = \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{311.184.388 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$M_n = 388.980.485 \text{ N.mm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \times 387 \\
 &= 232,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2]

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 232,2 \text{ mm} \\
 &= 174,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 130 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 130 \\
 &= 845.325 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 130}{400} \\
 &= 2.113,313 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 2.113,313 \times 400 \times \left( 387 - \frac{0,85 \times 130}{2} \right) \\
 &= 280.436.568 \text{ N. mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 388.980.485 \text{ N.mm} - 280.436.568 \text{ N.mm} \\
 &= 108.543.916 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 108.543.916 \text{ N.mm} > 0$  (perlu tulangan lentur tekan)

 **$\Rightarrow$  Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap**Gaya tekan dan tarik tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned}
 C_{s'} &= T_2 = \frac{M_{ns_{tumpuan}}}{d - d'} \\
 T_2 &= \frac{108.543.916 \text{ N. mm}}{387 - 63}
 \end{aligned}$$

$$T_2 = 335.012,09 \text{ N}$$

Cek Kondisi Tulangan Lentur Tekan

$$f_{s'} = \left( 1 - \frac{d'}{x} \right) \times 600$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{63}{130}\right) \times 600$$

$$f_s' = 309,23 \text{ MPa}$$

**Syarat :**

$f_s' \geq f_y \rightarrow$  leleh, maka  $f_s' = f_y$

$f_s' < f_y \rightarrow$  tidak leleh  $f_s' = f_s'$

$$f_s' < f_y$$

$309,23 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \rightarrow$  tidak leleh,  
maka  $f_s' = 309,23 \text{ MPa}$

Luasan tulangan tekan perlu

$$A_s' = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \times f_c')}$$

$$A_s' = \frac{335.012,09 \text{ N}}{(309,23 - 0,85 \times 30)}$$

$$A_s' = 1.180,739 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan tarik tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

$$A_{ss} = \frac{335.012,09}{400}$$

$$A_{ss} = 837,53 \text{ mm}^2$$

**Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik**

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$A_s = 2113,313 \text{ mm}^2 + 837,53 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2950,843 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{2950,843 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$$n = 7,77 \text{ buah} \sim \text{dipakai 8 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 8 \times 380,13 \\ &= 3041,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$$

$$3041,06 \text{ mm}^2 > 2950,843 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**Luasan setelah ditambahkan puntir :**

Luasan puntir longitudinal yang disumbangkan pada tulangan lentur :

$$\frac{A_l}{4} = 98,004 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan puntir longitudinal :

$$As \text{ perlu} = As + \frac{A_l}{4} = 3048,84 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= 0,25 \times 3,14 \times (22)^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{3048,84 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$n = 8,02$  buah ~ **dipakai 9 Buah**

Jadi, Tumpuan kanan balok B1 (30/45) memakai tulangan tarik 9D22.

### **Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tekan**

$$As' = 1.180,739 \text{ mm}^2$$

### **Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)**

$$n = \frac{As' \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1.180,739 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$n = 3,1$  buah ~ **dipakai 4 Buah**

### **Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)**

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan tulangan lentur} \\ &= 4 \times 380,13 \\ &= 1.520,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{ll} As' \text{ pasang} & > \quad As' \text{ perlu} \\ 1.520,52 \text{ mm}^2 & > \quad 866,9 \text{ mm}^2 \end{array}$$

### **Luasan setelah ditambahkan puntir :**

Luasan puntir longitudinal yang disumbangkan pada tulangan lentur :

$$\frac{A_l}{4} = 98,004 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur + luasan tambahan puntir longitudinal :

$$A_s \text{ perlu} = A_s' + \frac{A_l}{4} = 964,904 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pakai} &= 0,25 \times 3,14 \times (22)^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s' \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{964,904 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (22)^2}$$

$$n = 2,53 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 3 Buah}$$

Jadi, Tumpuan kanan balok B1 (30/45) memakai tulangan tekan 3D22.

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 9D22 dan tulangan tekan 1 lapis 3D22.*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (9 \times 22)}{9 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 0,25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$0,25 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm ( tidak memenuhi )}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 65 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$65 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan tarik belum terpenuhi ( $S_{\text{maks}} \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (5 \times 22)}{5 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 25,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$



25,5 mm  $\geq$  25 mm (**memenuhi**)

Maka, tulangan lentur balok B1 (30/45) untuk daerah tumpuan kiri dipasang :

- Tulangan lentur tarik susun 2 lapis  
Lapis 1 = 5D22  
Lapis 2 = 4D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 4D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 9\text{D}22 \\ &= 9 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 3421,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= 3\text{D}22 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 3421,19 \text{ mm}^2$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 \geq 1140,39 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{memenuhi})$$

Jadi, pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 9 D22

Tulangan tekan = 4 D22

**Cek momen nominal penampang**

As pakai tulangan tarik 9 D22 = 3421,19 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan 4 D22 = 1520,53 mm<sup>2</sup>

$$a = \left( \frac{(As \text{ pakai tul tarik} \times f_y) - (As' \text{ pakai tul tekan} \times f_s')}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(3421,19 \times 400) - (1520,53 \times 297,6)}{0,85 \times 30 \times 300} \right)$$

$$a = 119,73 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton :

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 119,73 \\ &= 763.852,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan tulangan rangkap :

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \text{ pasang} \times f_s' \\ &= 1520,53 \times 297,6 \\ &= 452.509,72 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen nominal pasang :

$$\begin{aligned} Mn &= Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + Cs' \times (d - d') \\ &= 763.852,5 \times \left( 387 - \frac{119,73}{2} \right) + 452.509,72 \times (387 - 63) \\ &= 396.496.036 \text{ N. mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu} \rightarrow \text{Perencanaan OK}$

$M_n \text{ pasang} \leq M_n \text{ perlu} \rightarrow \text{Perencanaan Tidak OK}$

Kontrol

$M_n \text{ pasang} \geq M_n \text{ perlu}$

$445.699.387 \text{ N.mm} \geq 388.980.485 \text{ N.mm}$  (**memenuhi**)

#### 4.6.1.3 Perhitungan Penulangan Geser

Dengan data balok sebagai berikut :

$F_c'$  = 30 Mpa

$F_y$  = 240 Mpa

$B_l$  = 0,85

$\phi$  reduksi = 0,75

[SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3.2.3]

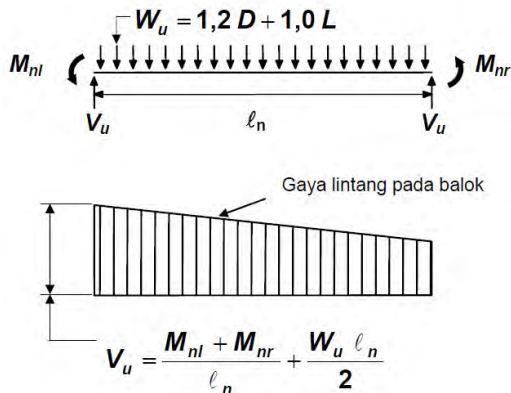
Lebar balok (b) = 300 mm

Tinggi balok (h) = 450 mm

$\emptyset$  tulangan sengkang = 13 mm

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (30/45), didapat :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4.60 Perencanaan Geser Untuk Balok SRPMM

### ***Momen Nominal Kiri***

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= 2280,8 \text{ mm}^2 \\ \text{As' pasang} &= 760,265 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \left( \frac{\text{As pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right) \\ &= \left( \frac{2280,8 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \\ &= 119,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mn_{\text{kiri}} &= (\text{As pasang} \times f_y) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= (2280,8 \times 400) \times \left( 387 - \frac{119,25}{2} \right) \\ &= 298.670.760 \text{ N. mm}\end{aligned}$$

### ***Momen Nominal Kanan***

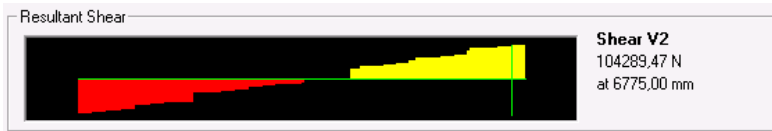
Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= 3421,2 \text{ mm}^2 \\ \text{As' pasang} &= 1140,39 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \left( \frac{\text{As' pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right) \\ &= \left( \frac{1140,39 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \\ &= 59,62 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mn_{\text{kanan}} &= (\text{As' pasang} \times f_y) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= (1140,39 \times 400) \times \left( 387 - \frac{59,62}{2} \right) \\ &= 162.934.361 \text{ N. mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0EQx - 0,3EQy dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor  $V_u = 104.289 \text{ N}$   
(dimana  $V_u$  diambil tepat pada muka kolom)

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3.2.3]

Dimana :

$Vu1$  = Gaya geser pada muka perletakan

$Mnl$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$Mnr$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$Ln$  = Panjang balok bersih

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu_{tumpuan}$$

$$Vu1 = \frac{298.670.760 \text{ Nmm} + 162.934.361 \text{ Nmm}}{7000 \text{ mm}} + 104.289 \text{ N}$$

$$Vu1 = 170.232,58 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.(1.(2))]

$$\sqrt{f'c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{30} &\leq \frac{25}{3} \\ 5,48 &\leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

#### Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 387 \\ &= 105.984,31 \text{ N}\end{aligned}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.3.1]

#### Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned}V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 300 \times 387 \\ &= 38.700 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 387 \\ &= 211.968,63 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 387 \\ &= 423.937,26 \text{ N}\end{aligned}$$

#### Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
2. Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok.

### Penulangan Geser Balok

1. Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 200.390,65 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

#### Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

$$170.232,58 \text{ N} \leq 39.744 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

#### Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$39.744 \text{ N} \leq 170.232,58 \text{ N} \leq 79.488 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

#### Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$79.488 \text{ N} \leq 170.232,58 \text{ N} \leq 108.513 \text{ N} \text{ (**Tidak Memenuhi**)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser}$$

$$108.513 \text{ N} \leq 170.232,58 \text{ N} \leq 238.464 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$= \frac{170.232,58 - (0,75 \times 105.710,45)}{0,75}$$

$$= 121.266,32 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan sengkang 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} Av \text{ perlu} &= (0,25 \times 3,14 \times d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \times 3,14 \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S perlu)

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{Av \times f_{yv} \times d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{157 \times 240 \times 387}{121.266,32} \\ &= 120,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 120 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq \frac{d}{2} \\ 120 \text{ mm} &\leq \frac{387 \text{ mm}}{2} \\ 120 \text{ mm} &\leq 193,5 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 600 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10-120 mm.

**Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2))

$$\begin{aligned} \text{a) } S_{\text{pakai}} &\leq \frac{d}{4} \\ 120 \text{ mm} &\leq \frac{387 \text{ mm}}{4} \end{aligned}$$



$$120 \text{ mm} \leq 96,75 \text{ (*tidak memenuhi*)}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } S_{\text{pakai}} &\leq 8 \times D_{\text{lentur}} \\ 120 \text{ mm} &\leq 8 \times 22 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &\leq 176 \text{ (*memenuhi*)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } S_{\text{pakai}} &\leq 24 \times D_{\text{sengkan}} \\ 120 \text{ mm} &\leq 24 \times 13 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &\leq 312 \text{ mm (*memenuhi*)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } S_{\text{pakai}} &\leq 300 \text{ mm} \\ 120 \text{ mm} &\leq 300 \text{ mm (*memenuhi*)} \end{aligned}$$

*Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, sehingga dipasang Ø13-150 mm dengan sengkang 2 kaki.*

## *2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)*

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} &= \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln} \\ Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} \\ &= \frac{170.232,58 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 7000 - 2 \times 500)}{\frac{1}{2} \times 7000} \\ &= 121.594,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

$$121.594,7 \text{ N} \leq 39.744 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \quad \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$39.744 \text{ N} \leq 121.594,7 \text{ N} \leq 79.488 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$79.488 \text{ N} \leq 121.594,7 \text{ N} \leq 108.513 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Kondisi 4

$$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow \text{Tulangan Geser}$$

$$108.513 \text{ N} \leq 121.594,7 \text{ N} \leq 238.464 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 4**.

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset}$$

$$= \frac{121.594,7 - (0,75 \times 79.488,23)}{0,75}$$

$$= 82.638,03 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\emptyset 10 \text{ mm}$  dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v \text{ perlu} = (0,25 \times 3,14 \times d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \times 3,14 \times 10^2) \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{157 \times 240 \times 387}{82.638,03} \\
 &= 176,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi 4*

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq \frac{d}{2} \\
 176,45 \text{ mm} &\leq \frac{387 \text{ mm}}{2} \\
 176,45 \text{ mm} &\leq 193,5 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 600 \text{ mm} \\
 176,45 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ .

### Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan kea rah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

[SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2)]

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &\leq \frac{d}{4} \\
 150 \text{ mm} &\leq \frac{387 \text{ mm}}{4} \\
 150 \text{ mm} &\geq 96,75 \text{ (tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &\leq 8 \times D_{lentur} \\
 150 \text{ mm} &\leq 8 \times 16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$150 \text{ mm} \geq 128$  (**tidak memenuhi**)

$$S_{pakai} \leq 24 \times D_{sengkan}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

$$S_{pakai} \leq 300 \text{ mm}$$

$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

***Karena tidak semua memenuhi syarat, maka penulangan geser balok di ambil pada jarak spasi syarat terkecil. Sehingga, penulangan geser balok untuk Balok Induk (30/45) pada Wilayah 2 (Daerah lapangan) dipasang Ø10 – 90 mm dengan sengkang 2 kaki.***

#### **4.6.1.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Balok**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan *SNI 03-2847-2002 pasal 14*.

##### *Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik*

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.2***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Tabel 11 Pasal 14.2*** sebagai berikut :

Tabel 4.6 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan  atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f_c}}$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.2]

Dimana,

 $\lambda d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik $d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai $\alpha$  = faktor lokasi penulangan $\beta$  = faktor pelapis

Tabel 4.7 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

$\alpha$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
$\beta$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

 $\lambda$  = faktor beton agregat ringan

Tabel 4.8 Faktor Beton Agregat Ringan

$\gamma$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila $f_{cr}$ disyaratkan, maka $\lambda$ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{cr})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \times \sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda \times d_b}{5 \times \sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$= \frac{3 \times 400 \times 1 \times 1,5 \times 1 \times 22}{5 \times \sqrt{30}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$= 1445,98 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{3048,84}{3421,19} \times 1445,98$$

$$= 1288,6 \text{ mm} \approx 1290 \text{ mm}$$

**Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1290 mm.**

#### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.1]

Berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.2*** panjang penyaluran dasar untuk suatu batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan  $f_y$  sama dengan 400 MPa adalah :

$$\begin{aligned}\lambda_{hb} &= \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_c'}} \geq 8 \times d_b \\ &= \frac{100 \times 22}{\sqrt{30}} \geq 8 \times 22 \\ &= 401,66 \text{ mm} \geq 176 \text{ (*memenuhi*)}\end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}} \times \lambda_{hb} \\ &= \frac{3048,88}{3421,19} \times 401,66 \\ &= 357,89 \text{ mm} \approx 358 \text{ mm}\end{aligned}$$

**Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 358 mm.**

#### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3***

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3.1]

Berdasarkan *SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3.2* panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} l_{db} &= \frac{d_b x f_y}{4 x \sqrt{f_c'}} \geq 0,04 x d_b x f_y \\ &= \frac{22 x 400}{4 x \sqrt{30}} \geq 0,04 x 22 x 400 \\ &= 401,66 \text{ mm} \geq 352 \text{ (*memenuhi*)} \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} x l_{db} \\ &= \frac{2477,53}{2659,58} x 440 \\ &= 401,66 \text{ mm} \approx 402 \text{ mm} \end{aligned}$$

***Maka dipakai panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 402 mm.***

Untuk pembengkokan tulangan dengan sudut  $90^\circ$  maka ditambah perpanjangan  $12d_b$  pada ujung bebas kait.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 9.1]

$$\begin{aligned} 12 x d_b &= 12 x 22 \\ &= 264 \text{ mm} \approx \mathbf{270 \text{ mm}} \end{aligned}$$

#### **4.6.1.5 Kontrol Retak**

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai :

$$z = f_s x \sqrt[3]{d_c A} < 30 \text{ MN/m}$$

(untuk penampang di dalam ruangan) dan

$$z = f_s x \sqrt[3]{d_c A} < 25 \text{ MN/m}$$

(untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar)

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4]



$$\begin{aligned}
 d_c &= \text{decking} + (0,5 \times D \text{ lentur}) \\
 &= 40 + (0,5 \times 22) \\
 &= 40 + (0,5 \times 22) = 51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{2d_c \times b_w}{n}, \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan} \\
 &= \frac{2 \times 51 \times 400}{9} \\
 &= 4533,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

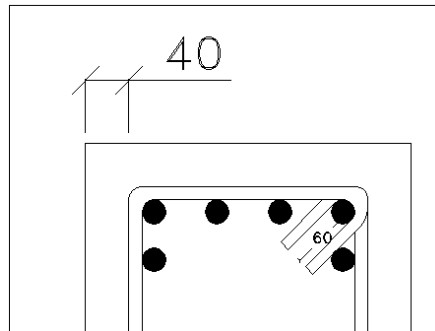
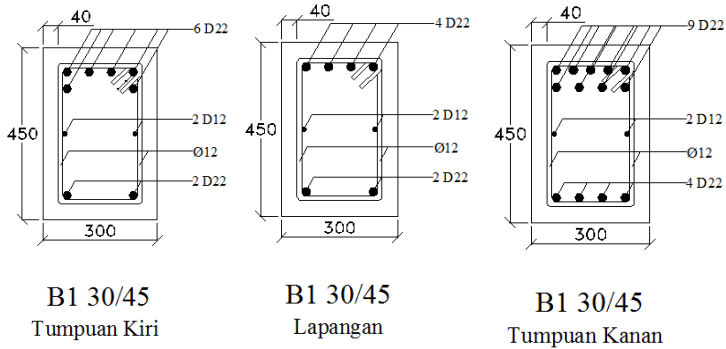
$$\begin{aligned}
 z &= f_s \times \sqrt[3]{d_c A} \\
 z &= 0,6 f_s \times \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 0,6 \times 400 \times \sqrt[3]{51 \times 4533,33} \\
 &= 14.730,11 \text{ N/mm} \\
 &= 14,73 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned}
 \omega &= 11 \times 10^{-6} \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c A} \\
 &= 11 \times 10^{-6} \times 0,85 \times 400 \times \sqrt[3]{51 \times 4533,33} \\
 &= 0,22 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana  $\beta = 0,85$  untuk  $f_c' \leq 30$  MPa.

Jadi penulangan balok induk B1 (30/45) As F (1-2) elevasi  $\pm 7.20$  adalah sebagai berikut :



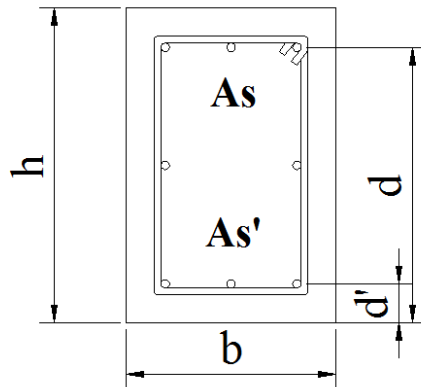
Gambar 4.61 Hasil penulangan balok induk B1 (30/45) As F (1-2)  
elevasi  $\pm 7.20$

#### 4.6.2 Perhitungan Penulangan Balok Bordes

Perhitungan tulangan balok bordes BB (30/45) As (D-E) 4 elevasi  $\pm 5.40$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

- Data-data perencanaan tulangan balok :  
 Tipe balok : BB (30/45)

As balok	: D-E 4
Bentang balok (L balok)	: 3000 mm
Dimensi balok (b balok)	: 300 mm
Dimensi balok (h balok)	: 450 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3600 mm
Dimensi kolom (b kolom)	: 450 mm
Dimensi kolom (h kolom)	: 450 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 400 Mpa
Diameter tulangan lentur ( $\emptyset$ lentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm
Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$ geser)	: 12 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.1]
Jarak spasi tulangan antar lapis	: 25 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.2]
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1]
Faktor $\beta_1$	: 0,85
	[SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3)]
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ )	: 0,8
	[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1)]
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	: 0,75
	[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ )	: 0,75
	[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]
Tinggi efektif balok :	
$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul.lentur}$	
$= 450 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 16)$	
$= 392 \text{ mm}$	
$d' = \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul.lentur}$	
$= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 16)$	
$= 58 \text{ mm}$	



Gambar 4.62 Tinggi efektif balok

### Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi Beban Gravitasi :

- ⇒ Pembebanan akibat beban mati dan beban hidup.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

Kombinasi Beban Gempa :

- ⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu X.  
 $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$  dan

$$0,9 \text{ DL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$$

⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa positif searah sumbu Y.

$$1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y \text{ dan}$$

$$0,9 \text{ DL} + 1,0 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$$

⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu X.

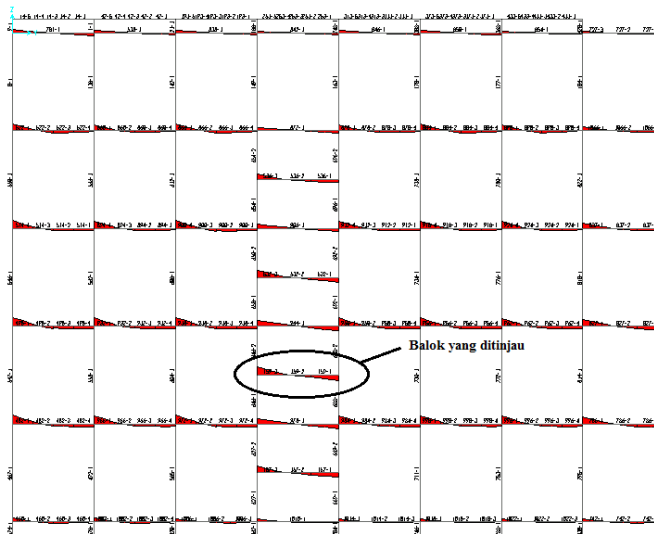
$$1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y \text{ dan}$$

$$0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$$

⇒ Pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa negatif searah sumbu Y.

$$1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y \text{ dan}$$

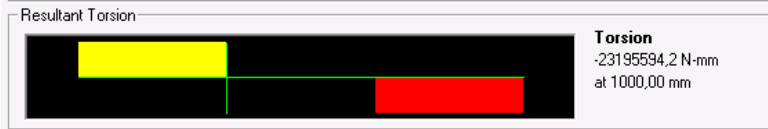
$$0,9 \text{ DL} - 1,0 \text{ EQ}_x - 0,3 \text{ EQ}_y$$



Gambar 4.63 Posisi BB (30/45) As D-E 4

## Hasil Output Diagram Torsi

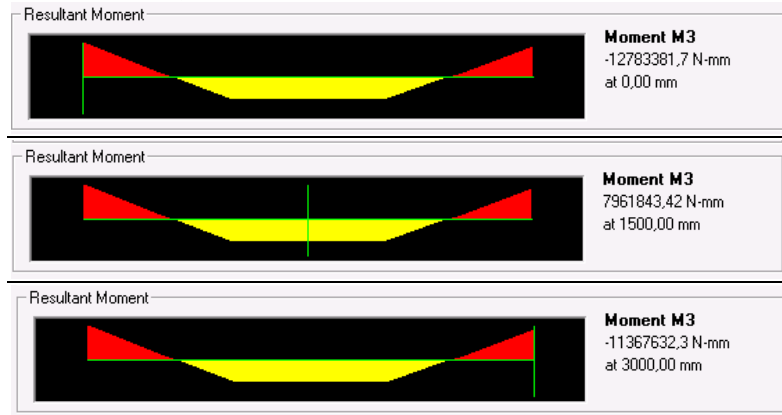
### Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL



Momen puntir : 23.195.594 Nmm

## Hasil Output Diagram Momen Lentur

### 1. Kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL



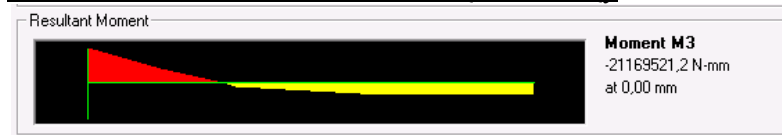
Akibat kombinasi :

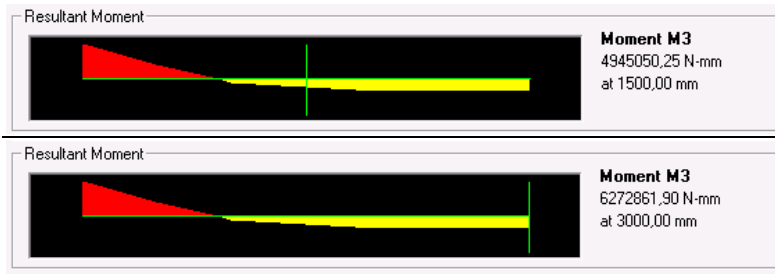
Momen tumpuan kiri : -12.783.381,7 N.mm

Momen lapangan : 7.961.843,42 N.mm

Momen tumpuan kanan : -11.367.632,3 N.mm

### 2. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx + 0,3 EQy





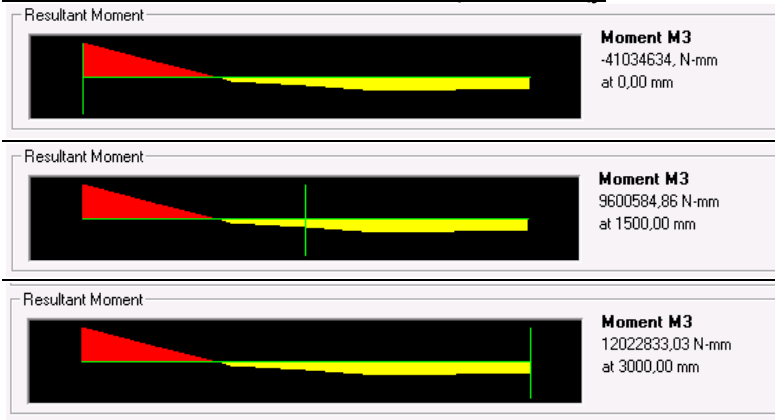
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -21.169.521,2 N.mm

Momen lapangan : 4.945.050,2 N.mm

Momen tumpuan kanan : -6.272.861 N.mm

### 3.Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx + 0,3 EQy



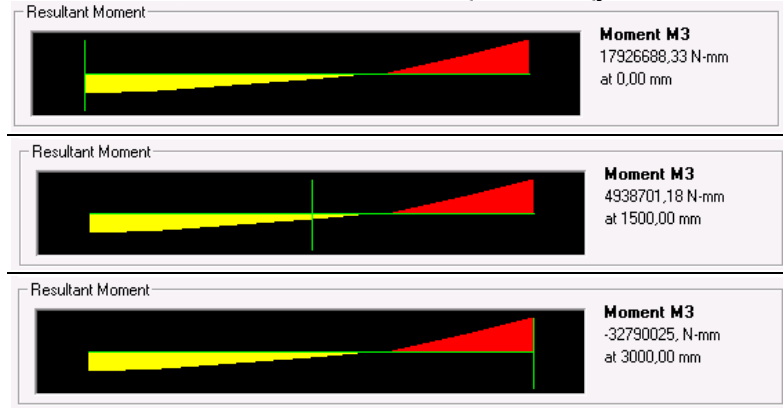
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 41.034.634 N.mm

Momen lapangan : 9.600.584 N.mm

Momen tumpuan kanan : 12.022.833 N.mm

#### 4. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx - 0,3 EQy



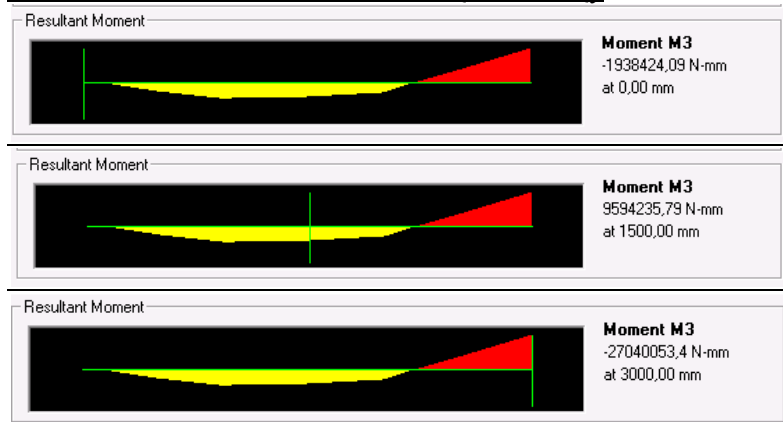
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 17.926.688,33N.mm

Momen lapangan : 49.338.701 N.mm

Momen tumpuan kanan : -32.790.025 N.mm

#### 5. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx - 0,3 EQy



Akibat kombinasi :

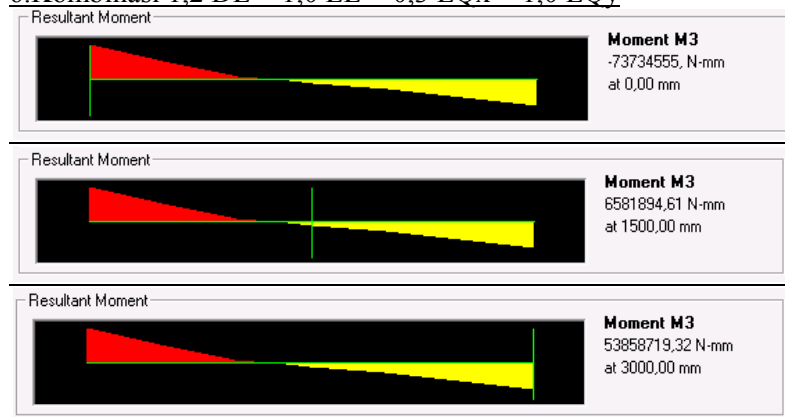
Momen tumpuan kiri : -1.938.424,09 N.mm



Momen lapangan : 9.594.235,79 N.mm

Momen tumpuan kanan : 27.040.053,4 N.mm

### 6. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQx + 1,0 EQy



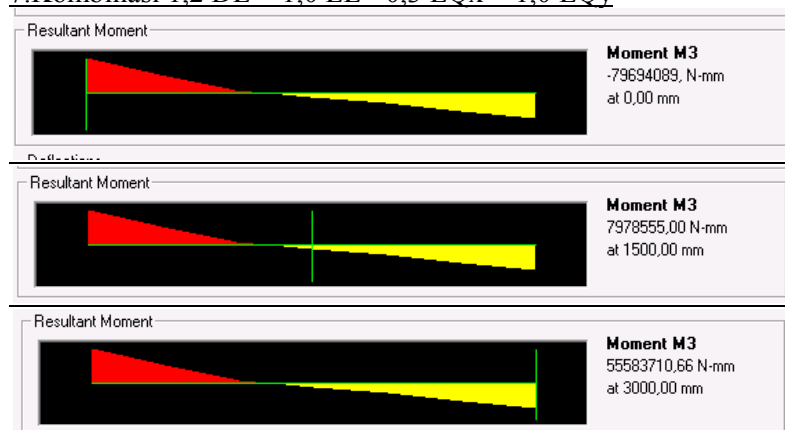
Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -73.734.555 N.mm

Momen lapangan : 6.581.894,61 N.mm

Momen tumpuan kanan : 53.858.719 N.mm

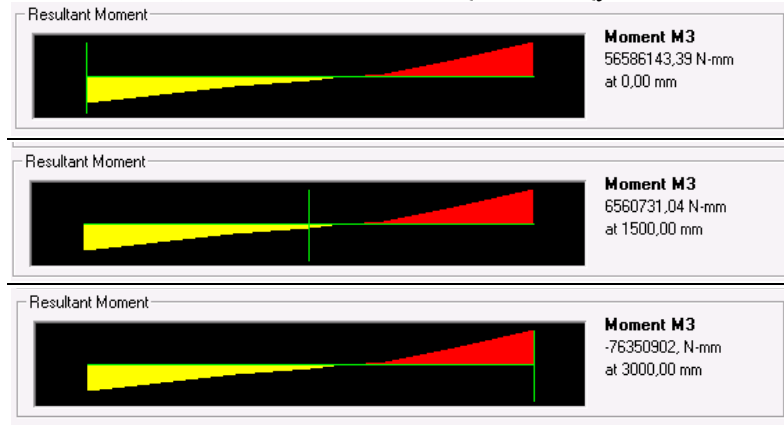
### 7. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQx + 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -79.694.089 N.mm  
 Momen lapangan : 7.978.555 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : 55.583.710 N.mm

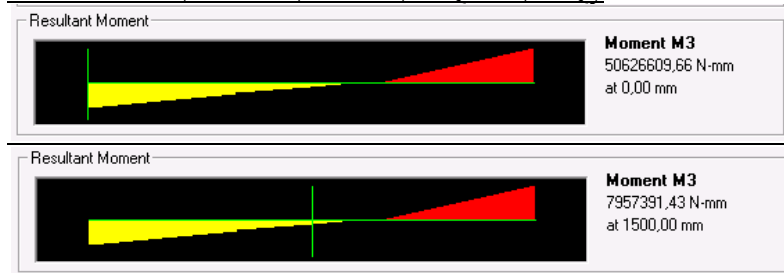
#### 8. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQx - 1,0 EQy

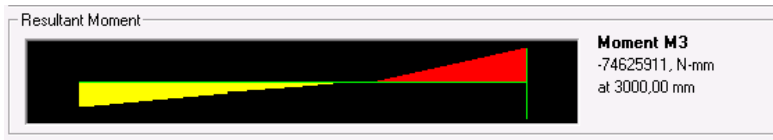


Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 56.586.143,39 N.mm  
 Momen lapangan : 6.560.731,04 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -76.350.902 N.mm

#### 9. Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQx - 1,0 EQy

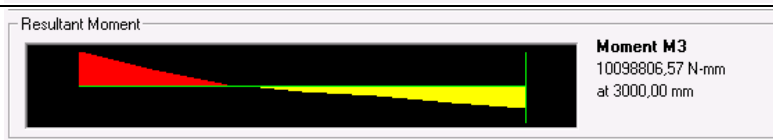
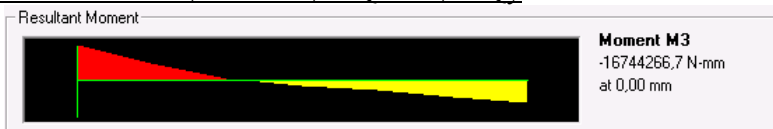




Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 50.626.609 N.mm  
Momen lapangan : 7.957.391,43 N.mm  
Momen tumpuan kanan : -74.635.922 N.mm

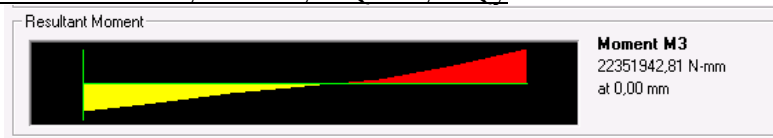
#### 10. Kombinasi 0,9 DL + 1,0 EQx + 0,3 EQy

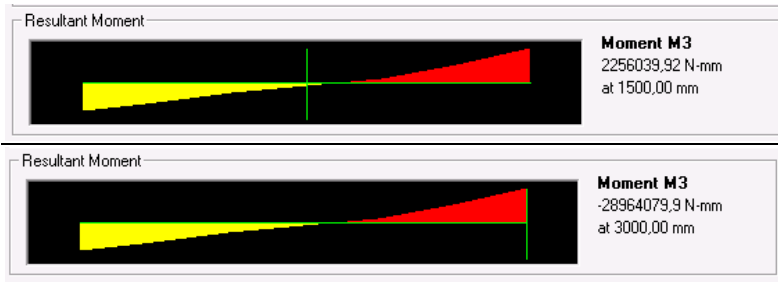


Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -16.744.266,7 N.mm  
Momen lapangan : 2.262.389 N.mm  
Momen tumpuan kanan : 10.098.806 N.mm

#### 11. Kombinasi 0,9 DL + 1,0 EQx - 0,3 EQy

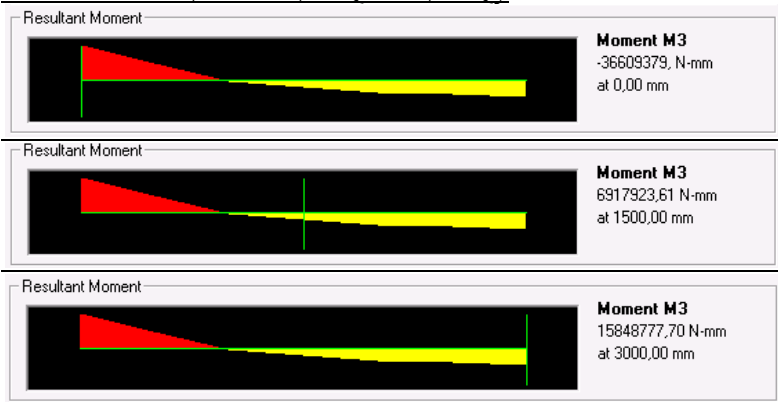




Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 22.351.942 N.mm  
 Momen lapangan : 2.256.039,92 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -28.964.079,9 N.mm

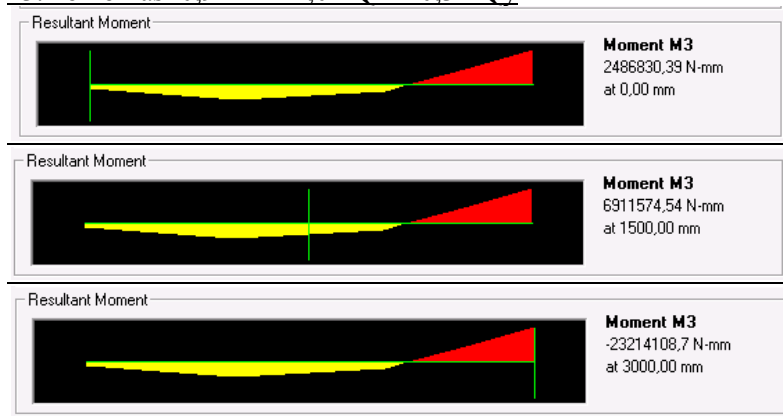
## 12. Kombinasi 0,9 DL - 1,0 EQx + 0,3 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -36.609.379 N.mm  
 Momen lapangan : 6.917.923,61 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : 15.848.777,7 N.mm

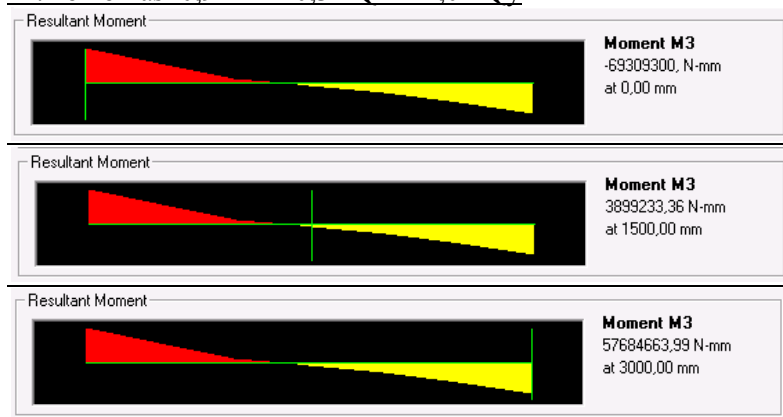
### 13. Kombinasi 0,9 DL – 1,0 EQx – 0,3 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 2.486.830,39 N.mm  
 Momen lapangan : 6.911.574,54 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -23.214.108,7 N.mm

### 14. Kombinasi 0,9 DL + 0,3 EQx + 1,0 EQy

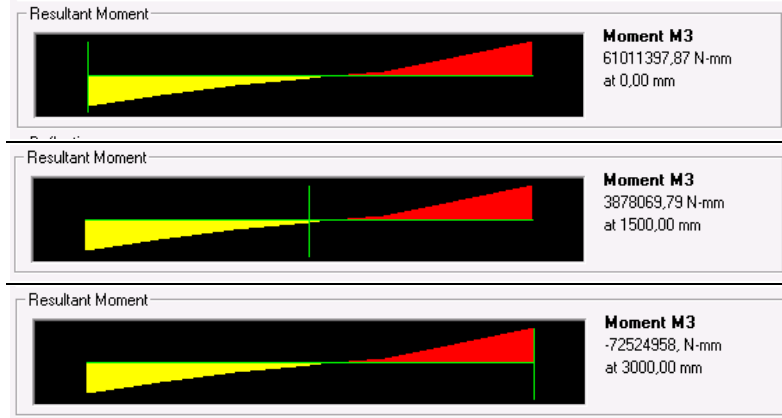


Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -69.630.200 N.mm  
 Momen lapangan : 45.827.584,25 N.mm

Momen tumpuan kanan : 57.684.663,99 N.mm

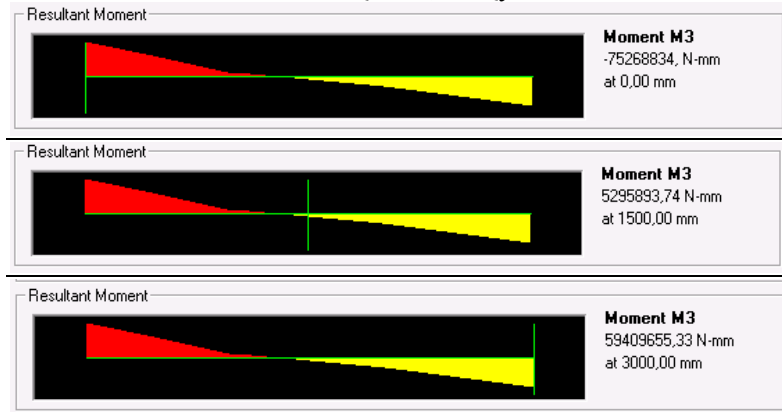
### 15. Kombinasi 0,9 DL + 0,3 EQx - 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 61.011.397 N.mm  
 Momen lapangan : 3.878.069,7 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -72.524.958 N.mm

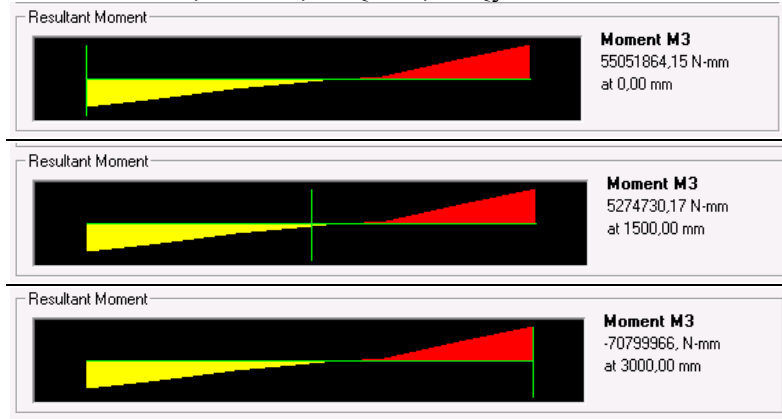
### 16. Kombinasi 0,9 DL - 0,3 EQx + 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : -75.268.834 N.mm  
 Momen lapangan : 5.295.893,74 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : 59.409.655,33 N.mm

### 17. Kombinasi 0,9 DL - 0,3 EQx - 1,0 EQy



Akibat kombinasi :

Momen tumpuan kiri : 55.051.864 N.mm  
 Momen lapangan : 5.274.730,17 N.mm  
 Momen tumpuan kanan : -70.799.966 N.mm

Untuk perhitungan tulangan lentur balok diambil momen terbesar dari tujuh belas kombinasi pembebanan di atas :

Tumpuan kiri :

Akibat kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 EQx + 1,0 EQy

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 79.694.089 \text{ Nmm}$$

Lapangan :

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL + 1EQx -0,3EQy

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 49.338.701 \text{ Nmm}$$

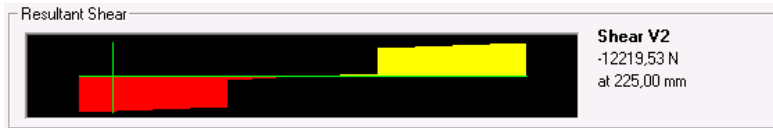
Tumpuan kanan :

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL + 0,3EQx - 1,0 EQy

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 76.350.902 \text{ Nmm}$$

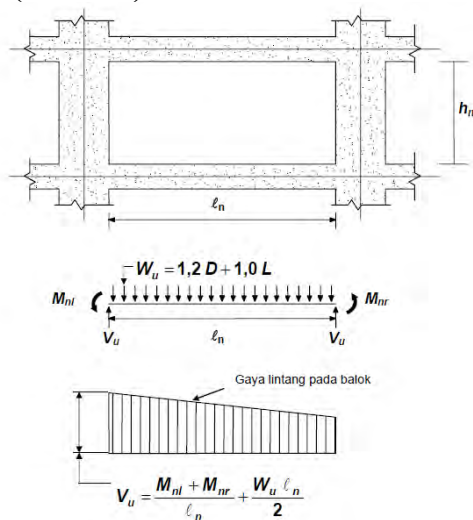
### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL, dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor  $V_u = 12.219,53 \text{ N}$

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

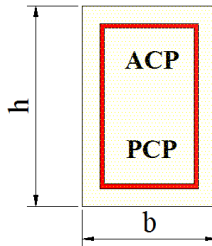


Gambar 4.64 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM



**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/45



Gambar 4.65 Luasan Acp dan Pcp

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 135.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) \\ &= 1.500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (300 - (2.40) - 10) \times (450 - (2.40) - 10) \\ &= 208 \text{ mm} \times 358 \text{ mm} \\ &= 75.600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(300 - (2.40) - 10) + (450 - (2.40) - 10)] \\ &= 2 \times [210 \text{ mm} + 360 \text{ mm}] \\ &= 2 \times 570 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 1.140 \text{ mm}$$

#### 4.6.2.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada SAP 2000 diperoleh momen puntir :

##### Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0EQx – 0,3EQy

$$T_u = 23.195.594 \text{ Nmm}$$

##### Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{23.195.594}{0,75} \\ &= 27.778.768 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

##### Geser Ultimate

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL + 1,0EQx – 0,3EQy

$$V_u = 12.219,53 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned} &= \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \quad [\text{SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.1(a)}] \\ &= \frac{0.75 \sqrt{30} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)}{12} \\ &= 4.159.268,17 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar :

$$= \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{3}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.2.2(a)]

$$= \frac{0.75 \sqrt{30}}{3} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)$$

$$= 16.637.072,7 \text{ Nmm}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$  maka tulangan puntir di abaikan.

$T_u > \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$  maka memerlukan tulangan puntir.

23.195.594 Nmm > 4.159.268,17 Nmm (**memerlukan tulangan puntir**)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

#### Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d}{b \times d} + \left( \frac{2 \times \sqrt{f_c'}}{3} \right) \right)$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(1).a]

$$\sqrt{\left( \frac{12.219,53}{300 \times 450} \right)^2 + \left( \frac{23195594 \times 1140}{1,7 \times 75600^2} \right)^2}$$

$$\leq 0.75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 450}{300 \times 450} + \left( \frac{2 \times \sqrt{30}}{3} \right) \right)$$

2,794 ≤ 3,423 (**memenuhi**)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

### Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \times \cot^2 \theta$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(7)]

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yv}}{s} \times \cot \theta$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.3.(6)]

Dimana :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 75.600 \\ &= 64.260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yv} \times \cot \theta} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{17.535.331}{2 \times 64.260 \times 240 \times \cot 45} \\ \frac{A_t}{s} &= 1,002 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= 1,002 \times 1140 \times \left( \frac{240}{400} \right) \times \cot^2 45 \\ &= 685,833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari :

$$A_{l \min} = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 f_{yt}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) \times Ph \times \left( \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right)$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.6.5.(3)]

$$A_{l \min} = \frac{5\sqrt{30} \cdot 135.000}{12 \times 400} - (1,002) \times 1140 \times \left( \frac{240}{400} \right)$$

$$= 84,402 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l_{\text{perlu}}} \leq A_{l_{\text{min}}}$  maka gunakan  $A_{l_{\text{min}}}$

$A_{l_{\text{perlu}}} \geq A_{l_{\text{min}}}$  maka gunakan  $A_{l_{\text{perlu}}}$

$685,833 \text{ mm}^2 \geq 84,402 \text{ mm}^2$  (**maka pakai  $A_{l_{\text{perlu}}}$** )

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar  $685,833 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{685,833}{4} = 171,458 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka, sisi atas dan bawah balok masing-masing mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $98,004 \text{ mm}^2$

Pada sisi kanan dan kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 171,458 = 342,9 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan tulangan puntir}}$$

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = \frac{342,9}{113,097}$$

$$\text{Jumlah tulangan pasang} = 3,03 \approx 4 \text{ Buah}$$

Dipasang tulangan puntir 4 Ø 12

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang puntir}}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan tulangan puntir} \\ &= 4 \times 113,097 \\ &= 452,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &\geq A_{s_{\text{perlu}}} \\ 452,38 \text{ mm}^2 &\geq 342,9 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka, pada tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan dipasang tulangan puntir sebesar 4D12.

#### 4.6.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

##### ➤ DAERAH TUMPUAN KIRI

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
 $,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,3 \text{ EQx} + 1,0 \text{ EQy}$

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 79.694.089 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u_{\text{tumpuan}}}}{\phi} \\ &= \frac{79.694.089 \text{ N.mm}}{0,80} \\ M_n &= 23.195.594 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 392 \\ &= 235,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 235,2 \text{ mm} \\
 &= 176,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{\min} &= d' \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 110 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 110 \\
 &= 715.275 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 110}{400} \\
 &= 1.788,18 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 1788,18 \times 400 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 110}{2} \right) \\
 &= 246.948.693,8 \text{ N. mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 99.617.611,25 \text{ N.mm} - 246.948.693,8 \text{ N.mm} \\ &= -147.331.082,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -147.331.082,5 \text{ N.mm} > 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

$\Rightarrow$  **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85 \times \beta_1 \times \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$



$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{30}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{99.617.611,5 \text{ Nmm}}{300 \times (392)^2} \\
 &= 2,16 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}\right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,16}{400}}\right) \\
 &= 0,0056
 \end{aligned}$$

**Syarat :**

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\
 0,0035 &\leq 0,0056 \leq 0,0244 \rightarrow \text{memenuhi}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0,0056$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pakai

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0056 \times 300 \times 392 \\
 &= 664,791 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{664,791 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$$n = 3,3 \text{ buah} \sim \text{dipakai 4 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 804,24 \text{ mm}^2 &> 664,79 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ &= 664,791 + 171 \\ &= 835,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{835,7 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$$n = 4,07 \text{ buah} \sim \text{dipakai 5 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik setelah ditambah luasan tambahan puntir (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1005,3 \text{ mm}^2 &> 818,8 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tekan

$$\text{As}' = 0 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + 171 \text{ mm}^2 \\ &= 171 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}} \\ n &= \frac{171 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}\end{aligned}$$

$$n = 0,76 \text{ buah} \sim \text{dipakai } \mathbf{2 \text{ Buah}}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 171 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan Tarik

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5D16*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5 - 1}$$

$$S_{maks} = 30 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**dipakai tulangan 1 lapis**)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 168 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**dipakai tulangan 1 lapis**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (30/45) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 5D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

*[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 5D16 \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan (+)} &\geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1005,3 \text{ mm}^2 \\ 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 335,1 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 5D16

Tulangan tekan = 2D16

$$a = \rho \cdot \left( \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \right) \cdot d$$

$$a = 0,0056 \cdot \left( \frac{300}{0,85 \times 30} \right) \cdot 392$$

$$a = 52,565 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_{c'} \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 52,565 \\ &= 402.123,86 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &= Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 402.123,86 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 52,565}{2} \right) \\ &= 147.063.690,3 \text{ N. mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\phi M_{n\text{pasang}} > M_{u\text{perlu}}$$

$$0,8 \times 147.063.690,3 \text{ N. mm} > 79.694.089 \text{ N.mm}$$

$$117.650.952,3 \text{ N.mm} > 79.694.089 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes BB (30/45) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 5D16 dan tulangan tekan minimum 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan tarik 1 lapis**

**Lapis 1 : 5D16**

- **Tulangan tekan minimum 1 lapis**

**Lapis 1 : 2D16**

➤ **DAERAH LAPANGAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :  
 $1,2DL + 1,0LL + 0,3EQ_x - 1,0EQ_y$

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 9.600.584 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$Mn = \frac{9.600.584 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$Mn = 12.000.730 \text{ N.mm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 392$$

$$= 235,2 \text{ mm}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2]

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 235,2 \text{ mm} \\ &= 176,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 80$$

$$= 520.200 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$Asc = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 80}{400}$$

$$= 1.788,18 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$= 1.788,18 \times 400 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 80}{2} \right)$$

$$= 186.231.600 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 12.000.730 \text{ N.mm} - 186.231.600 \text{ N.mm}$$



$$= -174.230.870 \text{ N.mm}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -174.230.870 \text{ N.mm} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

⇒ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 30}$$

$$= 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \left( \frac{30}{400} \right) \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{12.000.730 \text{ Nmm}}{300 \times (392)^2} \\
&= 0,26 \text{ N/mm}^2 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
&= \frac{1}{15,69} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 0,26}{400}} \right) \\
&= 0,0006
\end{aligned}$$

**Syarat :**

$$\begin{aligned}
&\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\
&0,0035 \geq 0,0006 \leq 0,0244 \rightarrow \textbf{tidak memenuhi}
\end{aligned}$$

Maka, digunakan  $\rho_{\min} = 0,0035$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pakai

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
&= 0,0035 \times 300 \times 392 \\
&= 411,6 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{411,6 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$n = 2,04 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 3 Buah}$

Luasan Tulangan Lentur Tarik (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\
 &= 603,18 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 603,18 \text{ mm}^2 &> 411,6 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \text{As} + \frac{A_l}{4} \\
 &= 411,6 + 171 \\
 &= 582,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{582,6 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$$n = 2,89 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 3 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik setelah ditambah luasan tambahan puntir (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\
 &= 603,18 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\
 603,18 \text{ mm}^2 &> 582,6 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tekan

$$As' = 0 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= As + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + 171 \text{ mm}^2 \\ &= 171 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}} \\ n &= \frac{171 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2} \end{aligned}$$

$$n = 0,85 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 2 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 171 \text{ mm}^2 \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Tarik

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D16*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 76 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (dipakai tulangan 1 lapis)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (dipakai tulangan 1 lapis)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (30/45) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 3D16 \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 603,18 \text{ mm}^2$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 201,06 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

*Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan :*

$$\text{Tulangan tarik} = 3D16$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D16$$

$$a = \rho \cdot \left( \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \cdot d$$

$$a = 0,0035 \cdot \left( \frac{300}{0,85 \times 30} \right) \cdot 392$$

$$a = 21,026 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 21,026 \\ &= 160.849,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &= Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 160.849,54 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 21,026}{2} \right) \\ &= 61.362.003,17 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\phi M_{n\text{pasang}} > M_{u\text{perlu}}$$

$$0,8 \times 61.362.003,17 \text{ N.mm} > 9.600.584 \text{ N.mm}$$

$$49.089.602,54 \text{ N.mm} > 9.600.584 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes BB (30/45) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D16 dan tulangan tekan minimum 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan tarik 1 lapis**  
**Lapis 1 : 3D16**
- **Tulangan tekan minimum 1 lapis**  
**Lapis 1 : 2D16**

#### ➤ DAERAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2DL + 1,0LL + 1,0EQ_x - 0,3EQ_y$$

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 76.350.902 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mn = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{\phi}$$

$$Mn = \frac{76.350.902 \text{ N.mm}}{0,80}$$

$$Mn = 95.438.627,5 \text{ N.mm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \times 392$$

$$= 235,2 \text{ mm}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 12.2.2]

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 235,2 \text{ mm} \\ &= 176,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 125 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$



$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 125$$

$$= 812.812 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 300 \times 0,85 \times 125}{400}$$

$$= 2.032,031 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X_{rencana}}{2} \right)$$

$$= 2.032,031 \times 400 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 125}{2} \right)$$

$$= 275.441.835,9 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 95.438.627,5 \text{ N.mm} - 275.441.835,9 \text{ N.mm} \\ &= -180.003.208 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = -180.003.208 \text{ N.mm} > 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

⇒ **Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal**

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 30}$$

$$= 15.69$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \left( \frac{30}{400} \right) \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{95.438.627 \text{ Nmm}}{300 \times (392)^2} \\
 &= 2,07 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.69 \times 2,07}{400}} \right) \\
 &= 0,0054
 \end{aligned}$$

**Syarat :**

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\
 0,0035 &\leq 0,0054 \leq 0,0244 \rightarrow \textbf{memenuhi}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0,0054$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pakai

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0054 \times 300 \times 392 \\
 &= 635,04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{635,04 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$n = 3,15 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 4 Buah}$

Luasan Tulangan Lentur Tarik (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 43 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 804,24 \text{ mm}^2 &> 635,04 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \text{As} + \frac{A_l}{4} \\ &= 635,04 + 171 \\ &= 806,04 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (Sisi Atas)

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{806,04 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2}$$

$$n = 4,01 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 5 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik setelah ditambah luasan tambahan puntir (Pasang Sisi Atas)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1005,3 \text{ mm}^2 &> 806,04 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Tekan

$$As' = 0 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= As + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + 171 \text{ mm}^2 \\ &= 171 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan pakai}} \\ n &= \frac{171 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (16)^2} \end{aligned}$$

$$n = 0,85 \text{ buah} \sim \textbf{dipakai 2 Buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D} \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times (16)^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 402,12 \text{ mm}^2 &> 171 \text{ mm}^2 \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Tarik

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5D16*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5 - 1}$$

$$S_{maks} = 76 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**dipakai tulangan 1 lapis**)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 152 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$152 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**dipakai tulangan 1 lapis**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (30/45) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 5D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada

muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 5D16 \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D16 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1005,3 \text{ mm}^2$$

$$402,12 \text{ mm}^2 \geq 335,1 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 5D16

Tulangan tekan = 2D16

$$a = \rho \cdot \left( \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \right) \cdot d$$

$$a = 0,0054 \cdot \left( \frac{300}{0,85 \times 30} \right) \cdot 392$$

$$a = 52,565 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 52,565 \\ &= 402.123 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{pasang}}} &= Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 402.123 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 52,565}{2} \right) \\ &= 147.063.690,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_{u_{\text{perlu}}}$$

$$0,8 \times 147.063.690,3 \text{ N.mm} > 76.350.902 \text{ N.mm}$$

$$117.650.952,3 \text{ N.mm} > 76.350.902 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok bordes BB (30/45) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 5D16 dan tulangan tekan minimum 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan tarik 1 lapis**  
**Lapis 1 : 5D16**
- **Tulangan tekan minimum 1 lapis**  
**Lapis 1 : 2D16**

#### 4.6.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Dengan data balok sebagai berikut :

$$\begin{aligned} f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ B_1 &= 0,85 \\ \phi \text{ reduksi} &= 0,75 \end{aligned}$$



[SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3.2.3]

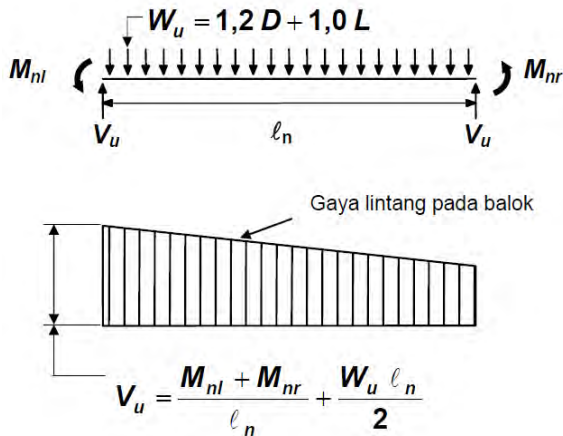
Lebar balok (b) = 300 mm

Tinggi balok (h) = 450 mm

Ø tulangan sengkang = 10 mm

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada BB (30/45),  
didapat :

### Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4.66 Perencanaan Geser Untuk Balok SRPMM

### ***Momen Nominal Kiri***

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

As pasang = 1005,3 mm<sup>2</sup>As' pasang = 402,12 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 a &= \left( \frac{As \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right) \\
 &= \left( \frac{1005,3 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \\
 &= 52,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{kiri}} &= (As \text{ pasang} \times fy) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= (1005,3 \times 400) \times \left(392 - \frac{52,56}{2}\right) \\
 &= 147.063.326,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

### ***Momen Nominal Kanan***

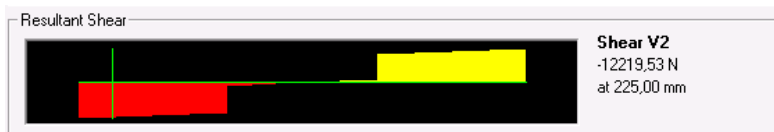
Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= 1005,31 \text{ mm}^2 \\
 As' \text{ pasang} &= 402,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{As \text{ pasang} \times fy}{0,85 \times fc \times b}\right) \\
 &= \left(\frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300}\right) \\
 &= 21,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{kiri}} &= (As \text{ pasang} \times fy) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= (402,12 \times 400) \times \left(392 - \frac{21,02}{2}\right) \\
 &= 61.361.903,52 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL dari analisa SAP 2000 didapatkan :



Gaya geser terfaktor  $V_u = 12219,53 \text{ N}$   
(dimana  $V_u$  diambil tepat pada muka kolom)

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + \frac{Wu \times Ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3.2.3]

Dimana :

$Vu1$  = Gaya geser pada muka perletakan

$Mnl$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$Mnr$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$Ln$  = Panjang balok bersih

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu \text{ tumpuan}$$

$$Vu1 = \frac{147.063.326 \text{ Nmm} + 61.361.903 \text{ Nmm}}{3000 \text{ mm}} + 104.289 \text{ N}$$

$$Vu1 = 173.764,07 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa.

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.1.(1.(2))]

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,48 \leq 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} Vc &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 392 \end{aligned}$$

$$= 107.353,62 \text{ N}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.3.1]

#### Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 300 \times 392 \\ &= 39.200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 392 \\ &= 214.707,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 392 \\ &= 429.414,48 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu :

1. Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
2. Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ke tengah bentang balok.

#### Penulangan Geser Balok

1. Pada wilayah tumpuan

$$V_{u1} = 173.764,07 \text{ N}$$

Cek Kondisi :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$  Tidak Perlu Tulangan Geser  
 $173.764,07 \text{ N} \leq 40.257,6 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $40.257,6 \text{ N} \leq 173.764,07 \text{ N} \leq 80.515,21 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $80.515,21 \text{ N} \leq 173.764,07 \text{ N} \leq 109.915,21 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\phi (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$  Tulangan Geser  
 $109.915,21 \text{ N} \leq 173.764,07 \text{ N} \leq 241.545,64 \text{ N}$  (**Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser baolok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{173.764,07 \text{ N} - (0,75 \times 107.353,62)}{0,75} \\ &= 124.331,94 \text{ N} \end{aligned}$$

Direnkanakan menggunakan tulangan geser  $\phi 10$  mm dengan sengkang 2 kaki, maka luasang tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &= (0,25 \times 3,14 \times d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \times 3,14 \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S perlu)

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{Av \times f_{yv} \times d}{V_{S_{perlu}}} \\
 &= \frac{157 \times 240 \times 392}{124.331,94} \\
 &= 118,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser dengan jarak 100 mm

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq \frac{d}{2} \\
 100 \text{ mm} &\leq \frac{392 \text{ mm}}{2} \\
 100 \text{ mm} &\leq 196 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 600 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\varnothing 10$ -100 mm.

**Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Cek persyaratan berdasarkan (SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2))

$$\begin{aligned}
 \text{a) } S_{pakai} &\leq \frac{d}{4} \\
 100 \text{ mm} &\leq \frac{392 \text{ mm}}{4} \\
 100 \text{ mm} &\leq 98 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } S_{pakai} &\leq 8 \times D_{lentur} \\
 100 \text{ mm} &\leq 8 \times 16 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &\leq 128 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

$$\text{c) } S_{pakai} \leq 24 \times D_{senggang}$$

$$100\text{mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$100\text{mm} \leq 240 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$\text{d) } S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$100\text{mm} \leq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

*Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga dipasang Ø10-100 mm dengan sengkang 2 kaki.*

## 2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2}ln - 2h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2}ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} \\ &= \frac{173.764,07 \text{ N} \times (\frac{1}{2} \times 3000 - 2 \times 450)}{\frac{1}{2} \times 3000} \\ &= 69.505,62 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

### Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

$$69.505,62 \text{ N} \geq 40.257,6 \text{ N (tidak memenuhi)}$$

### Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan Geser Minimum}$$

$$40.257,6 \text{ N} \leq 69.505,62 \text{ N} \leq 80.515,21 \text{ N (memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 2**.

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ buah} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} \\ &= \frac{157 \times 3 \times 240}{300} \\ &= 376,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi 2*

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq \frac{d}{2} \\ 376,8 \text{ mm} &\leq \frac{392 \text{ mm}}{2} \\ 376,8 \text{ mm} &\geq 196 \text{ mm} \text{ (*tidak memenuhi*)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 600 \text{ mm} \\ 376,8 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \text{ (*memenuhi*)} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 150 mm.

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan kea rah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :



- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2)]

$$S_{pakai} \leq \frac{d}{4}$$

$$150 \text{ mm} \leq \frac{392 \text{ mm}}{4}$$

$$150 \text{ mm} \geq 98 \text{ (*tidak memenuhi*)}$$

$$S_{pakai} \leq 8 \times D_{lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 16 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \geq 128 \text{ (*tidak memenuhi*)}$$

$$S_{pakai} \leq 24 \times D_{sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm (*tidak memenuhi*)}$$

$$S_{pakai} \leq 300 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm (*memenuhi*)}$$

***Karena tidak semua memenuhi syarat, maka penulangan geser balok di ambil pada jarak spasi syarat terkecil. Sehingga, penulangan geser balok untuk Balok Bordes (30/45) pada Wilayah 2 (Daerah lapangan) dipasang Ø10 – 100 mm dengan sengkang 2 kaki.***

#### 4.6.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 pasal 14.***

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 pasal 14.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 Tabel 11 Pasal 14.2** sebagai berikut :

Tabel 4.9 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan  atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f_c}}$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.2]

Dimana,

$\lambda d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\alpha$  = faktor lokasi penulangan

$\beta$  = faktor pelapis

Tabel 4.10 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

$\alpha$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
$\beta$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan

Tabel 4.11 Faktor Beton Agregat Ringan

$\gamma$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila $f_{ct}$ disyaratkan, maka $\lambda$ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{25 \times \sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\lambda_d = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda \times d_b}{25 \times \sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$= \frac{12 \times 400 \times 1 \times 1,5 \times 1 \times 16}{25 \times \sqrt{30}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$= 841,3 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_d$$

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{836,25}{1005,3} \times 841,3$$

$$= 699,9 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}$$

**Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 700 mm.**

#### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.1]

Berdasarkan **SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.2** panjang penyaluran dasar untuk suatu batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan  $f_y$  sama dengan 400 MPa adalah :

$$\lambda_{hb} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f'c}} \geq 8 \times d_b$$

$$= \frac{100 \times 16}{\sqrt{30}} \geq 8 \times 16$$

$$= 292,11 \text{ mm} \geq 128 \text{ (**memenuhi**)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{d \text{ reduksi}} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_{hb}$$

$$= \frac{836,25}{1005,3} \times 292,11$$

$$= 242,99 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

***Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 250 mm.***

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3***

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3.1]

Berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.3.2*** panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} l_{db} &= \frac{d_b x f_y}{4 x \sqrt{f_c'}} \geq 0,04 x d_b x f_y \\ &= \frac{16 x 400}{4 x \sqrt{30}} \geq 0,04 x 16 x 400 \\ &= 292,11 \text{ mm} \geq 256 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} x l_{db} \\ &= \frac{171}{402} x 292,11 \\ &= 124,22 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

***Maka dipakai panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 130 mm.***

Untuk pembengkokan tulangan dengan sudut  $90^0$  maka ditambah perpanjangan  $12d_b$  pada ujung bebas kait.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 9.1]

$$\begin{aligned} 12 x d_b &= 12 x 16 \\ &= 192 \text{ mm} \approx \textbf{200 mm} \end{aligned}$$

#### 4.6.2.5 Kontrol Retak

Bila tegangan leleh rencana  $f_y$  untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, maka penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus dirancang sedemikian hingga nilai :

$$z = f_s x \sqrt[3]{d_c A} < 30 \text{ MN/m}$$

(untuk penampang di dalam ruangan) dan

$$z = f_s x \sqrt[3]{d_c A} < 25 \text{ MN/m}$$

(untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar)

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4]

$$\begin{aligned} d_c &= \text{decking} + (0,5 \times D \text{ lentur}) \\ &= 40 + (0,5 \times 16) \\ &= 40 + (0,5 \times 16) = 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{2d_c \times b_w}{n}, \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan} \\ &= \frac{2 \times 48 \times 400}{5} \\ &= 7680 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= f_s x \sqrt[3]{d_c A} \\ z &= 0,6 f_s x \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 0,6 \times 400 \times \sqrt[3]{51 \times 7680} \\ &= 17.559,88 \text{ N/mm} \\ &= 17,55 \text{ MN/mm} < 30 \text{ MN/mm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

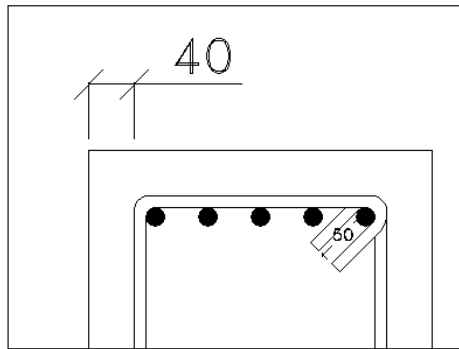
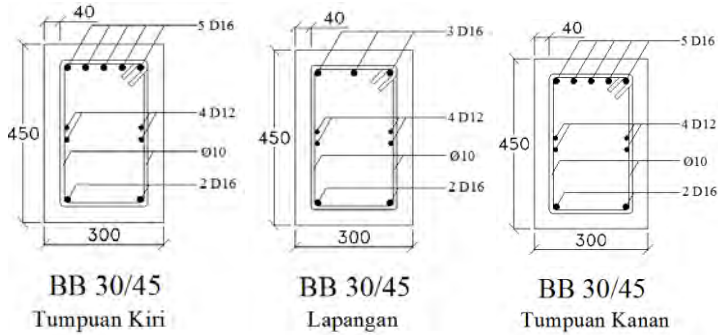
Sebagai alternative terhadap perhitungan nilai  $z$ , dapat dilakukan dengan perhitungan lebar retak yang diberikan oleh :

$$\begin{aligned} \omega &= 11 \times 10^{-6} \times \beta \times f_s x \sqrt[3]{d_c A} \\ &= 11 \times 10^{-6} \times 0,85 \times 400 \times \sqrt[3]{51 \times 7680} \\ &= 0,27 \text{ mm} < 0,4 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang

yang dipengaruhi cuaca luar, dimana  $\beta = 0,85$  untuk  $f_c' \leq 30$  MPa.

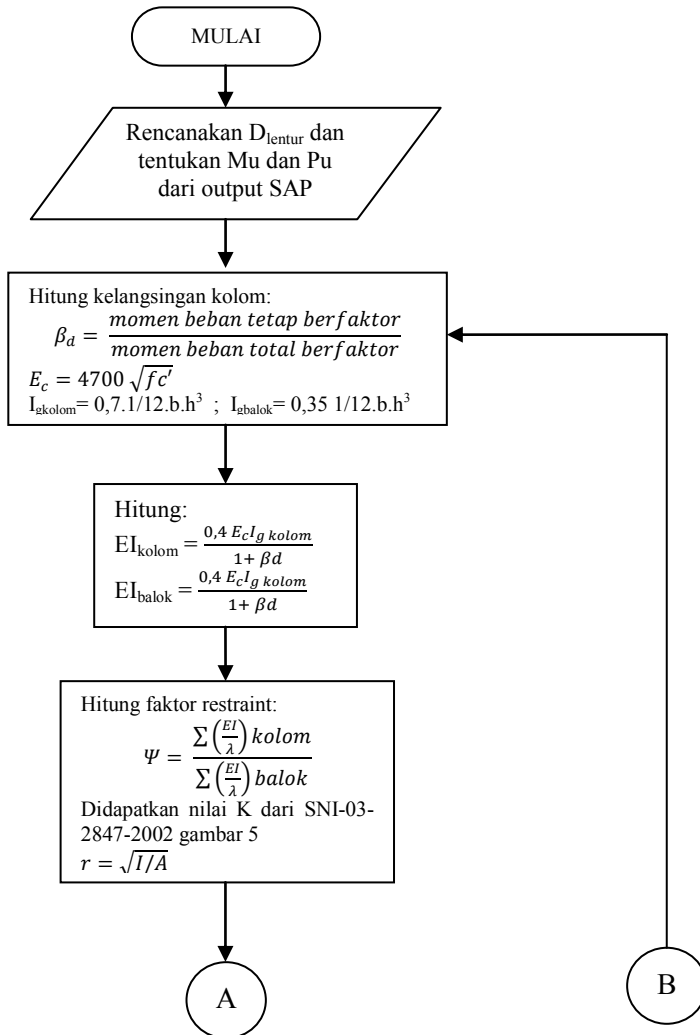
Jadi penulangan balok bordes BB (30/45), As D-E 4 elevasi + 5.60 adalah sebagai berikut :



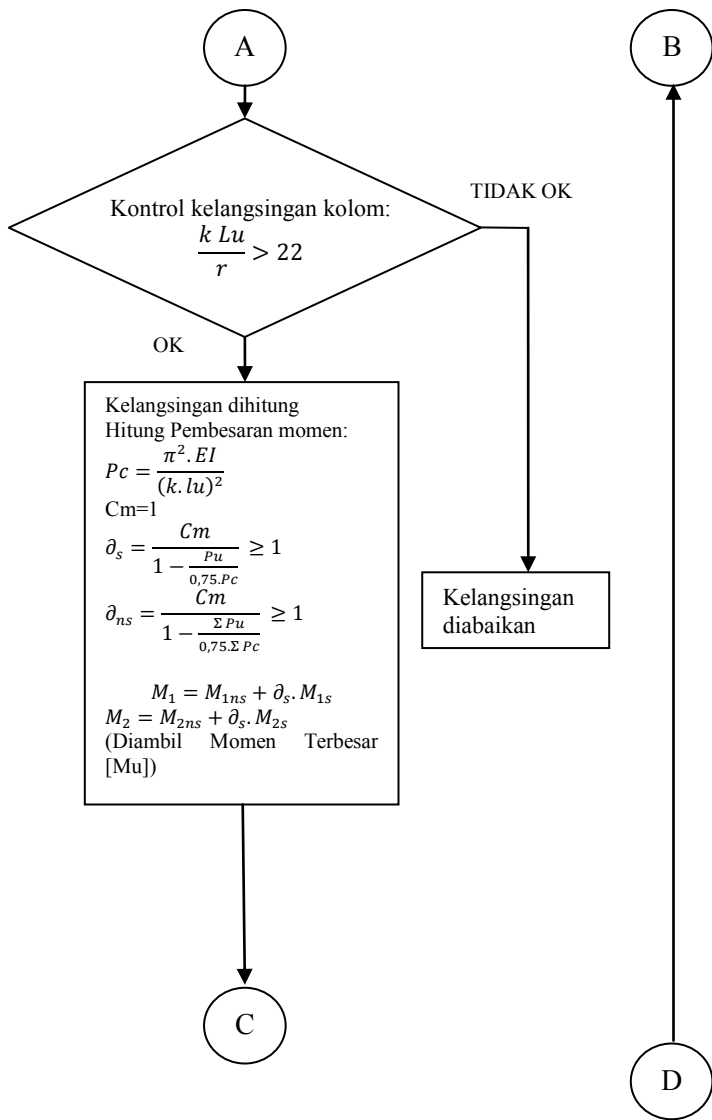
Gambar 4.67 Hasil penulangan balok bordes BB (30/45), As D-E 4 elevasi + 5.60

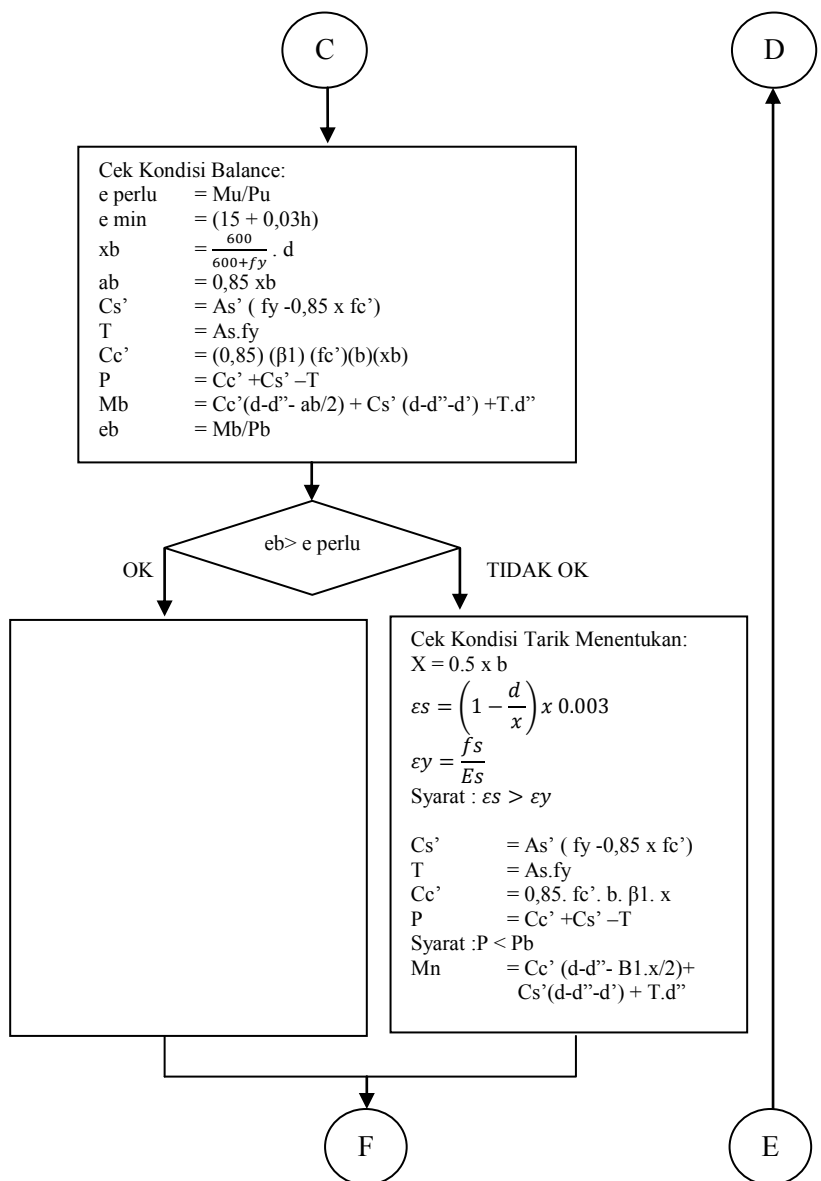
## 4.7 Perhitungan Kolom

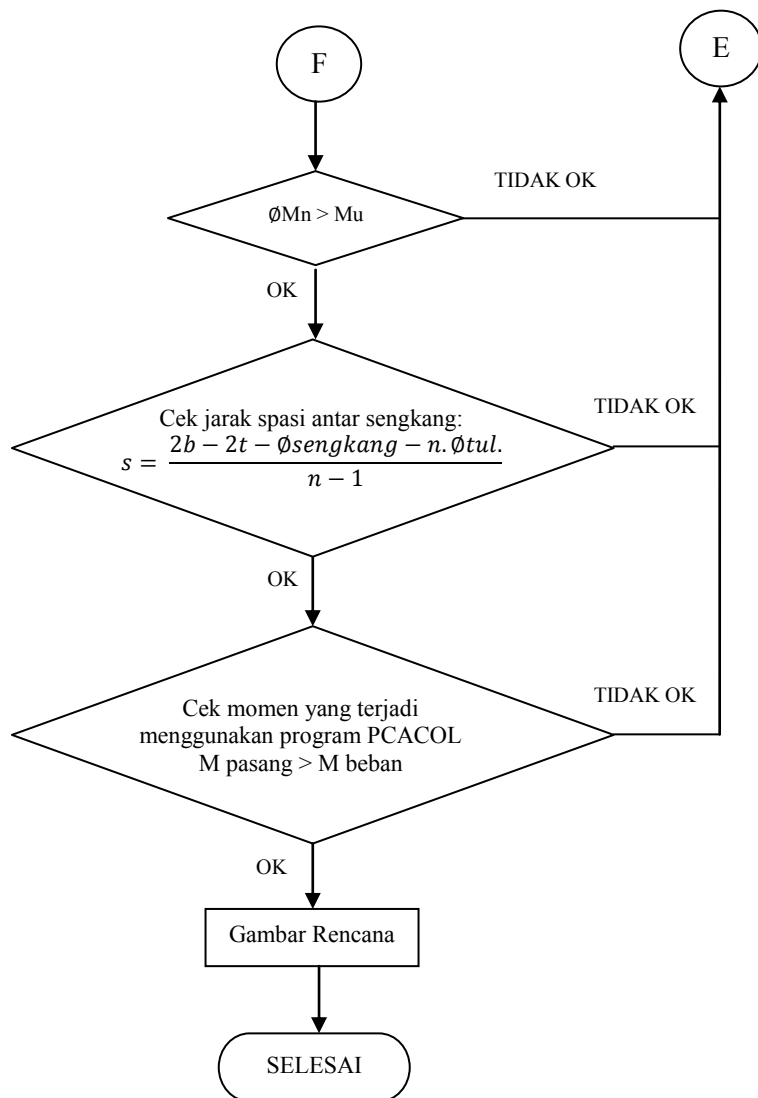
*Skema perhitungan penulangan lentur kolom :*



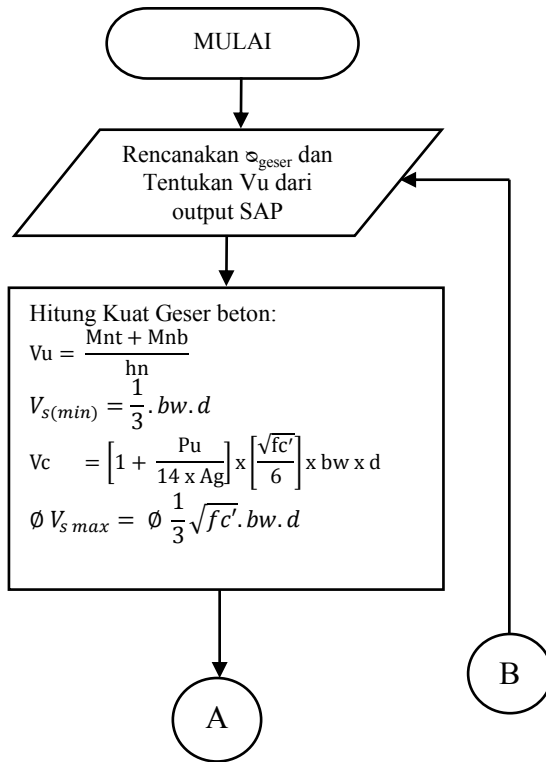


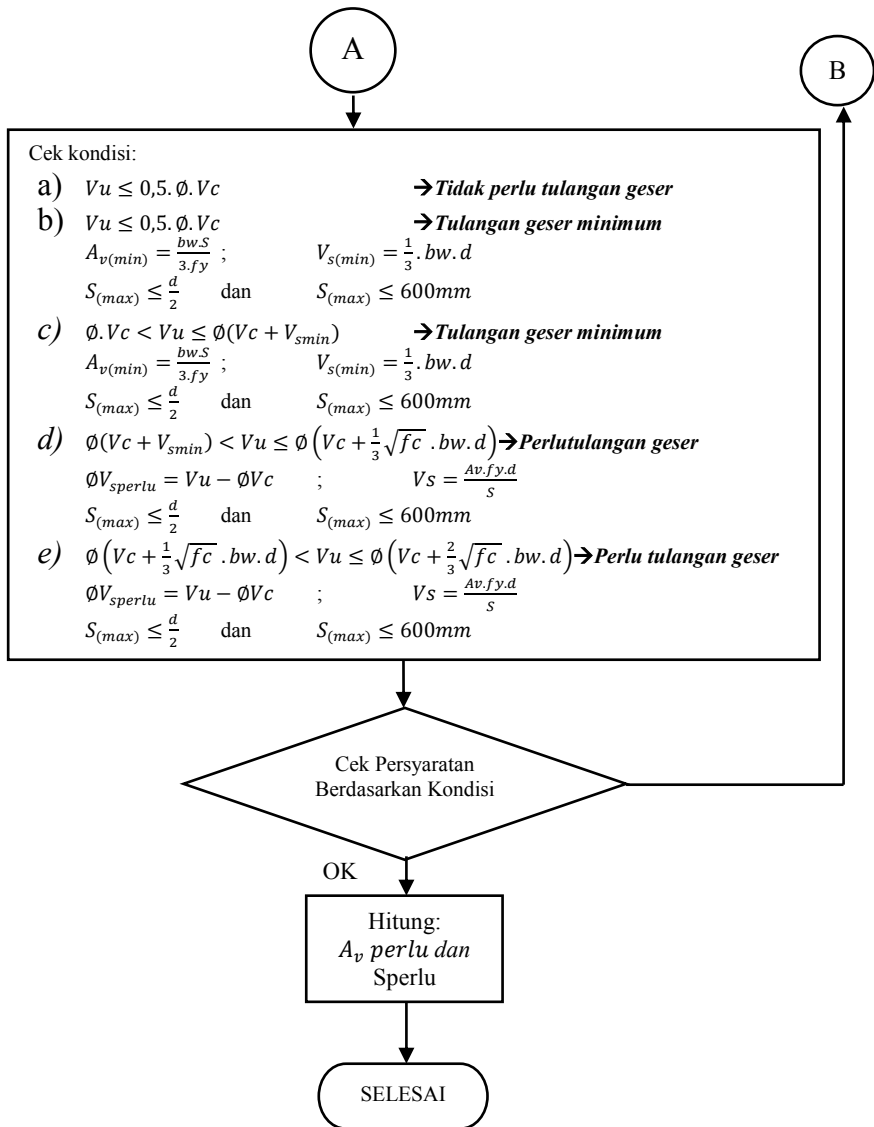






*Skema perhitungan penulangan geser kolom :*





Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom Rusunawa Sidotopo Surabaya. Sebagai contoh perhitungan diambil **K-1 (45/45) As (H-4)** yang terletak pada lantai 1. Berikut analisis perhitungan kolom tersebut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output dan diagram gaya dalam dari SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut :

#### 4.7.1 Penulangan Lentur Kolom

⇒ Data-data perencanaan :

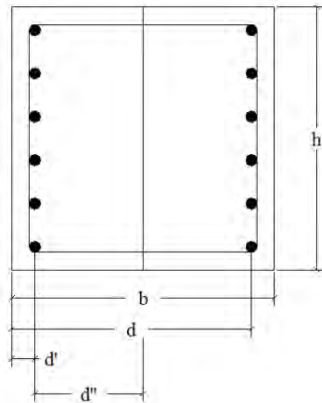
Tipe Kolom	= K-1
b kolom	= 450 mm
h kolom	= 450 mm
L kolom	= 3600 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	= 30 Mpa
Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	= $4700\sqrt{f_c'}$
Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	= 200000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ lentur)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	= 240 Mpa
Diameter tulangan lentur ( $D$ lentur)	= 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	= 10 mm
Tebal selimut beton (decking)	= 40 mm
	[SNI 03-2847-2002 Pasal 9.7.1]
Jarak spasi tulangan sejajar ( $S$ sejajar)	= 40 mm
	[SNI 03-2847-2002 Pasal 9.6.3]
Faktor $\beta_1$	= 0.85
	[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.2.7.(3)]
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ )	= 0.65
	[SNI 03-2847-2002 Pasal 11.2.2.(b)]
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ )	= 0.75
	[SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.(3)]

Maka, tinggi efektif kolom :

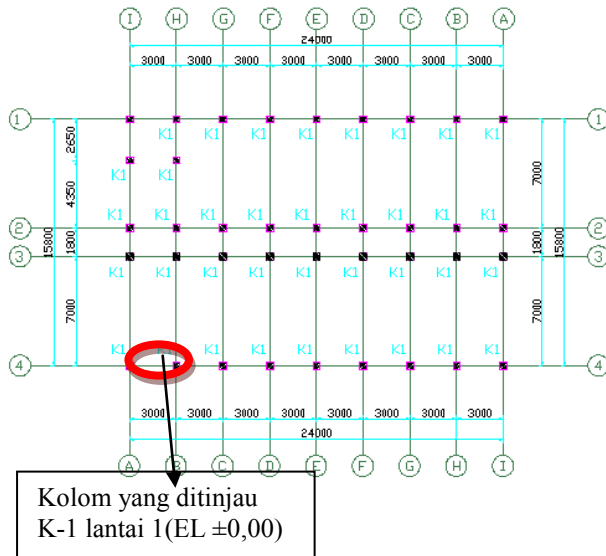
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\ &= 450 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 22) \\ &= 389 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \times 22) \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

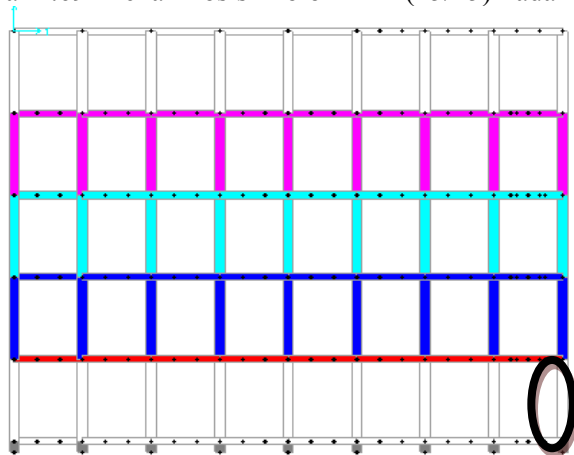
$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 450 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 22) - (\frac{1}{2} \times 450) \\ &= 164 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.68 Tinggi Efektif Kolom

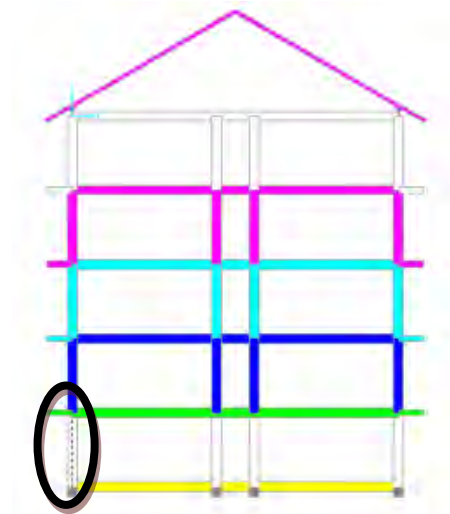


Gambar 4.69 Denah Posisi Kolom K-1 (45/45) Pada As H-4



Gambar 4.70 Posisi K-1 (45/45) As H-4 Pada Sumbu X-Z





Gambar 4.71 Posisi K-1 (45/45) As H-4 Pada Sumbu Y-Z

Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Aksial dalam arah X dan Y pada kolom K-1 sebagai berikut :

Gaya Aksial akibat (DL)

PU = 812.607 N

Gaya Aksial akibat (LL)

PU = 129.034N

Gaya Aksial akibat (1,2DL + 1LL+1ex+0,3ey)

PU = 1.663.343 N

#### ❖ Kontrol Kelangsingan Kolom

$\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

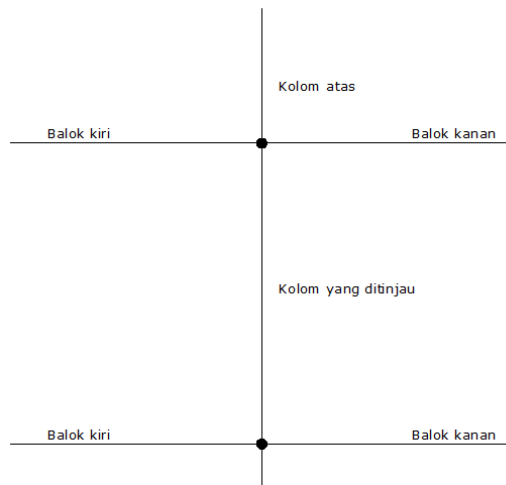
$$\begin{aligned}\beta_d &= \frac{Pu(1,2)}{Pu(1,2DL + 1,0LL + 03Ex + 1Ey)} \\ &= \frac{1,2 \times 812.607}{1.663.343}\end{aligned}$$

$$= 0,586$$

Panjang Tekuk Kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.6]



Gambar 4.72 Lokasi dan Model Kolom Yang Akan Dihitung

Untuk kolom (45/45)

$$El_k = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3]

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 450 \times (450)^3 \\ &= 2.392.031.250 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lk} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25.742,96 \times 2.392.031.250}{1 + 0,586} \\
 &= 1,55 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang(30/45)

$$E_{lb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 300 \times (450)^3 \\
 &= 797.343.750 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{30} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 797.343.750}{1 + 0,586} \\
 &= 5,17 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok melintang (25/30)

$$E_{lb} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.3]

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times 1/12 \times 250 \times (300)^3 \\
 &= 196.875.000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700\sqrt{30} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{lb} &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\
 &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times 196.875.000}{1 + 0,586} \\
 &= 1,27 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (K).

#### Kolom atas

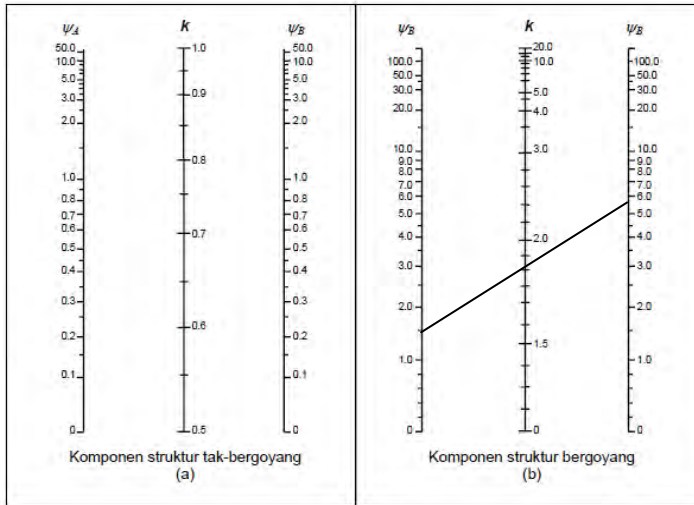
$$\begin{aligned}
 \psi &= \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}} \\
 \psi &= \frac{(1,55 \times 10^{13} / 3600) \times 2}{\left( 2 \times \left( 1,27 \times \frac{10^{12}}{3000} \right) \right) + (5,17 \times 10^{12} / 3000) + (5,6 \times \frac{10^{12}}{1200})} \\
 &= 1,46
 \end{aligned}$$

#### Kolom bawah

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}}$$

$$\psi = \frac{\left(1,55 \times \frac{10^{13}}{3700}\right) + \left(1,55 \times \frac{10^{13}}{500}\right)}{\left(2x \left(\frac{1,27 \times 10^{12}}{3000}\right)\right) + \left(\frac{5,17 \times 10^{12}}{7000}\right) + \left(5,17 \times \frac{10^{12}}{1200}\right)}$$

$$= 5,9$$



Gambar 4.73 Faktor Panjang Efektif (K)

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.11.(6)]

Dari grafik alligment kolom didapat **k = 1,7**

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2.392.031.250}{202.500}}$$

$$r = 108,68$$

$$\frac{k \times Lu}{r} \geq 22$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.12.2]

$$\frac{1,7 \times 3600}{108,68} \geq 22$$

$$56,309 \geq 22 \text{ (Kolom Langsing)}$$

#### ❖ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Momen dalam arah X pada kolom K-1 sebagai berikut :

Momen Akibat Pengaruh Gempa :

$M_{1s}$  =momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.  
[SNI 03-2847-2002]

$M_{2s}$  =momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.  
[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi gempa (1,2DL+1LL-1Ex - 0,3Ey) :

$$M_{1s} = 25.386.300 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 198.809.000 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping  
[SNI 03-2847-2002]

$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping  
[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL :

$$M_{1ns} = 4.535.800 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_{2ns} &= 109.834.400 \text{ Nmm} \\ \Sigma Pu &= 46.814.238 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung nilai Pc (P kritis) Pada Kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{k \times l_u^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times (1,55 \times 10^{13})}{(1,7 \times 3600)^2} \\ &= 4.095.069 \text{ N} \\ \Sigma P_c &= 37 \times P_c \\ &= 37 \times 4.095.069 \\ &= 151.517.540 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Pu}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1 \\ \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{46.814.238}{0,75 \times 151.517.540}} \geq 1 \end{aligned}$$

$$\delta_s = 1,3 \geq 1 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,3$  dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen

Berdasarkan output SAP diperoleh :

$$\begin{aligned} M_{1ns} &= 4.535.800 \text{ Nmm} \\ M_{2ns} &= 109.834.400 \text{ Nmm} \\ M_{1s} &= 25.386.300 \text{ Nmm} \\ M_{2s} &= 198.809.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{1x} &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 4.535.800 + (1,3 \times 25.386.300) \\ &= 37.537.990 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{2x} = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$\begin{aligned}
 &= 109.834.400 + (1,3 \times 198.809.000) \\
 &= 368.286.100 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen yang terbesar yaitu :

$$\mathbf{M2x = 368.286.100 \text{ Nmm}}$$

$$Mu = \frac{M2x}{\phi}$$

$$Mu = \frac{368.286.100}{0,65}$$

$$Mu = 566.594.000 \text{ Nmm}$$

$$Pu = \frac{Pu}{\phi}$$

$$Pu = \frac{1663343}{0,65}$$

$$Pu = 2558989,23 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= (15 + 0.03 \times h) \\
 &= (15 + 0.03 \times 450) \\
 &= 28,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{perlu}} &= \frac{Mu}{Pu} \\
 &= \frac{566.594.000}{2.558.989} \\
 &= 221 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Kondisi Balance

$$d = 389 \text{ mm}$$

$$d' = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = 164 \text{ mm}$$

Dicoba 14 D 22

$$\begin{aligned}
 As' = As &= 7 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 2662 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{600}{600 + 400} \times 389 \\
 &= 233,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \beta_1 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 233,4 \\
 &= 198,39 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 2662 \times (400 - 0,85 \times 30) \\
 &= 996.919 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 233,4 \\
 &= 2.276.525,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 2662 \times 400 \\
 &= 1.064.800 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 2.276.525,25 \text{ N} + 996.919 \text{ N} - 1.064.800 \text{ N} \\
 &= 2.208.644,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_c' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2.276.525,25 \left( 389 - 164 - \frac{198,39}{2} \right) \\
 &\quad + 996.919 (389 - 164 - 61) + 1.064.800 (164) \\
 &= 624.520.175 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{624.520.175}{2.208.644,25} \\
 &= 282,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$

$28,5 \text{ mm} > 221,413 \text{ mm} < 282,76 \text{ mm}$

***Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan.***

Cek Kondisi Kolom Tekan Menentukan

$e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$

$221,413 \text{ mm} > 282,76 \text{ mm}$  (***memenuhi***)

Diambil nilai  $X = 250 \text{ mm}$

$\varepsilon_s < \varepsilon_y$  ( $f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$ )

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \times 0.003 \\
 &= \left( \frac{389}{250} - 1 \right) \times 0.003 \\
 &= 0,00167
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{f_s}{E_s} \\
 &= \frac{400}{200000} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

$\varepsilon_s < \varepsilon_y$

$0,00167 < 0,002$  (***memenuhi***)

$$C_s' = A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$\begin{aligned}
 &= 2662x(400 - 0,85 x 30) \\
 &= 996.919 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 x fc' x b x \beta_1 x X \\
 &= 0,85 x 30 x 400 x 0,85 x 250 \\
 &= 2.438.438 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s x \left( \frac{d}{x} - 1 \right) x 600 \\
 &= 888.043,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2.438.438 \text{ N} + 996.919 \text{ N} - 888.043,2 \text{ N} \\
 &= 2.547.313 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &> Pb \\
 2.547.313 \text{ N} &> 2.208.644,25 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= P x e \\
 &= Cc' \left( d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2.438.438 \left( 389 - 164 - \frac{0,85 x 250}{2} \right) \\
 &\quad + 996.616 (389 - 164 - 61) + 888.043,2 (164) \\
 &= 598.698.253,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\emptyset Mn > Mu$$

$$0,65 x 598.698.253,9 \text{ Nmm} > 398.286.100 \text{ Nmm}$$

$$389.153.865 \text{ Nmm} > 398.286.100 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

**Sehingga pada kolom K-1 dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 7D22 pada tiap sisi**

### ❖ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya Momen dalam arah Y pada kolom K-1 sebagai berikut :

#### Momen Akibat Pengaruh Gempa :

$M_{1s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.

[SNI 03-2847-2002]

$M_{2s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.

[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi gempa (1,2DL+1LL-1Ex - 0,3Ey) :

$$M_{1s} = 9211500 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 37534700 \text{ Nmm}$$

#### Momen Akibat Pengaruh Beban Gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping

[SNI 03-2847-2002]

Akibat kombinasi 1,2DL + 1,6LL :

$$M_{1ns} = 440.300 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 1.983.500 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma Pu = 46.814.238 \text{ N}$$

#### Menghitung nilai $P_c$ ( $P$ kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times l_u^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times (1,646 \times 10^{13})}{(1,7 \times 3600)^2}$$

$$= 4.341.133 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = 37 \times P_c$$

$$= 37 \times 4.341.133$$

$$= 160.621.927 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{46.814.238}{0,75 \times 160.621.927}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,42 \geq 1 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,42$  dalam perhitungan perbesaran momen.

#### Pembesaran Momen

Berdasarkan output SAP diperoleh :

$$M_{1ns} = 440.300 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 1.983.500 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} = 4.984.500 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 25.095.800 \text{ Nmm}$$

$$M_{1y} = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$= 440.400 + (1,42 \times 4.984.500)$$

$$= 7.518.290 \text{ Nmm}$$

$$M_{2y} = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$= 1.983.500 + (1,42 \times 25.095.800)$$

$$= 37.619.536 \text{ Nmm}$$

Diambil momen yang terbesar yaitu :

$$\mathbf{M_{2y} = 37.619.536 \text{ Nmm}}$$

$$Mu = \frac{M2Y}{\phi}$$

$$Mu = \frac{37.619.536}{0,65}$$

$$Mu = 57.876.209 \text{ Nmm}$$

$$Pu = \frac{Pu}{\phi}$$

$$Pu = \frac{1663343}{0,65}$$

$$Pu = 2.558.989,231 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} e_{\min} &= (15 + 0.03 \times h) \\ &= (15 + 0.03 \times 450) \\ &= 28,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= \frac{Mu}{Pu} \\ &= \frac{57.876.209}{2.558.989,231} \\ &= 23 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Cek Kondisi Balance

$$d = 389 \text{ mm}$$

$$d' = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = 164 \text{ mm}$$

Dicoba 10 D 22

$$\begin{aligned} As &= As' = 10 \times (1/4 \pi d^2) \\ &= 10 \times (1/4 \pi 22^2) \\ &= 1901,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Xb &= \frac{600}{600 + f_y} \times d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \times 389 \\ &= 233,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$ab = \beta_1 \times Xb$$

$$= 0,85 \times 233,4$$

$$= 198,39 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 1901,43 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 712.085 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 233,4$$

$$= 2276525,25 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 1901,43 \times 400$$

$$= 760571,43 \text{ N}$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2276525,25 \text{ N} + 712.085 \text{ N} - 760.571,43 \text{ N}$$

$$= 2.228.038,82 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 2276525,25 \left( 389 - 164 - \frac{198,39}{2} \right)$$

$$+ 712085 (389 - 164 - 61) + 760571,43 (164)$$

$$= 572.913.913 \text{ N}$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$= \frac{572.913.913}{2.228.038,82}$$

$$= 236,9 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tarik Menentukan)}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$$

$$28,5 \text{ mm} > 23 \text{ mm} < 236,9 \text{ mm}$$

***Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan.***

#### Cek Kondisi Kolom Tekan Menentukan

$$e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$$

$$23 \text{ mm} > 236,9 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Diambil nilai  $X = 250 \text{ mm}$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \text{ (} f_s = f_y = 400 \text{ MPa)}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \times 0.003 \\ &= \left( \frac{389}{250} - 1 \right) \times 0.003 \\ &= 0,00167 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{f_s}{E_s} \\ &= \frac{400}{200000} \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00167 < 0,002 \text{ (**memenuhi**)}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\ &= 1901,43 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 712085 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,85 \times 250 \end{aligned}$$



$$= 2438438N$$

$$T = A_s \times \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= 634316,57 \text{ N}$$

$$P = Cc' + Cs' - T$$

$$= 2438438 \text{ N} + 712085 \text{ N} - 634316,57 \text{ N}$$

$$= 2516206 \text{ N}$$

$$P > Pb$$

$$2516206 \text{ N} > 2228038,82 \text{ (memenuhi)}$$

$$Mn = P \times e$$

$$= Cc' \left( d - d'' - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 2.438.438 \left( 389 - 164 - \frac{0.85 \times 250}{2} \right)$$

$$+ 712.085 (389 - 164 - 61) + 634.316,57 (164)$$

$$= 510.374.310,8 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi Mn > Mu$$

$$0.65 \times 510.374.310,8 \text{ Nmm} > 37.619.536 \text{ Nmm}$$

$$331.743.302 \text{ Nmm} > 37.619.536 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

***Sehingga pada kolom K-1 dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu Y maka dipasang sebesar 5D22 pada tiap sisi***

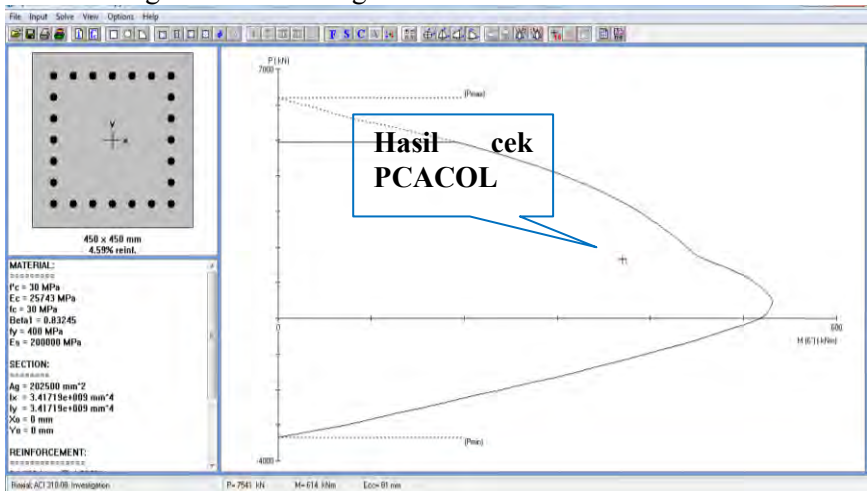
➤ **Kesimpulan :**

Setelah menghitung nilai momen nominal yang terpasang pada arah x dan y maka dipakai nilai yang terbesar. Sehingga dipakai tulangan 24 D 22 yang pada setiap sisi kolom terdapat tulangan 7 D 22.

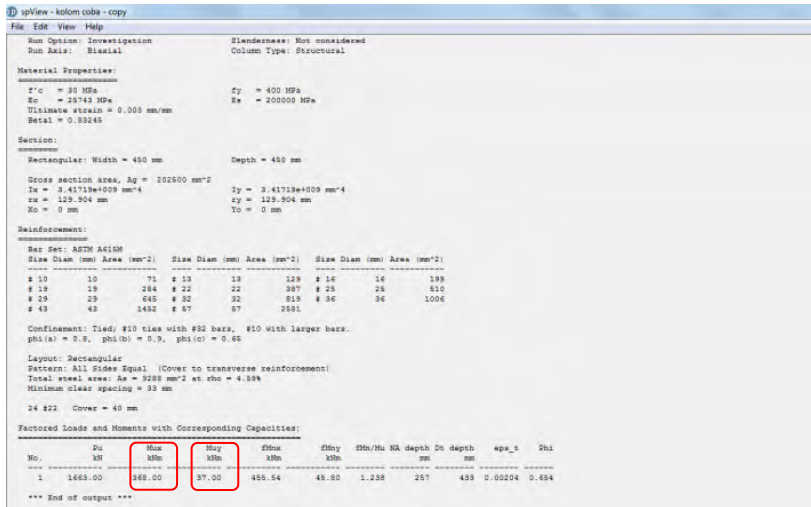
### Cek dengan program PCACOL

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PCACOL, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 N/mm <sup>2</sup>
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ lentur)	= 400 N/mm <sup>2</sup>
Modulus Elastisitas ( $E_c$ )	= 25.742,96 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
b kolom	= 450 mm
h kolom	= 450 mm
Tulangan Kolom Pasang <b>24 D 22</b>	



Gambar 4.74 Grafik Akibat Momen Pada program PCACOL



Gambar 4.75 Hasil Output Pada Program PCACOL

Momen kapasitas penampang yang dihasilkan pada program PCACOL adalah :

Untuk Arah X

$\phi M_n > M_u$

455,54 KNm > 368 KNm

455.540.000 Nmm > 368.000.000 Nmm (**memenuhi**)

Untuk Arah Y

$\phi M_n > M_u$

45,8 KNm > 37 KNm

45.800.000 Nmm > 37.000.000 Nmm (**memenuhi**)

**Jadi pada perencanaan dipasang tulangan kolom K-1 As D-5 sebanyak 24D22.**

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 24 \times 0.25 \times \pi \times 22 \times 22 \\ &= 18.253,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{9.123,18}{(450 \times 450)} = 0,045 = 4,5\%$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih nbesar daripada momen ultimate perhitungan manual (Mu manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

#### 4.7.2 Penulangan Geser Kolom

⇒ Data-data Perencanaan :

b kolom	= 450 mm
h kolom	= 450 mm
L kolom	= 3600 mm
Kuat tekan beton (fc')	= 30 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 22 mm
Diameter tulangan geser (Ø geser)	= 10 mm
Kuat leleh tulangan lentur (fy lentur)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (fy geser)	= 240 Mpa
Faktor reduksi kekuatan geser (Ø)	= 0.5

[SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.(3)]

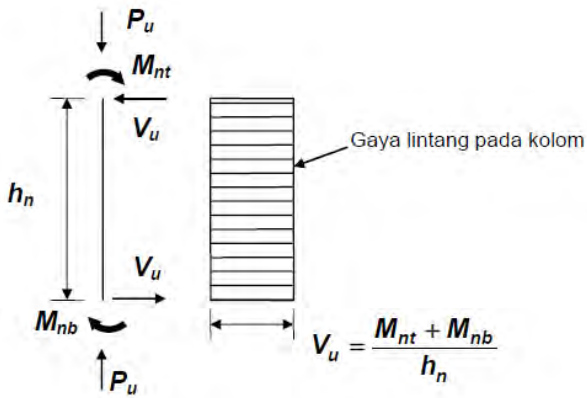
Berdasarkan hasil out put program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya aksial pada kolom K1 sebagai berikut :

Aksial

Gaya Aksial akibat (1,2DL+1LL-1EX-0,3EY)

PU = 1.663343 N

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM harus direncanakan sebagai berikut :



Gambar 4.76 Lintang Rencana Untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10,3]

Dimana :

M<sub>nt</sub> = Momen nominal atas (top) kolomM<sub>nb</sub> = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{ut}}{\phi} = \frac{166.540.000}{0,75} = 607.386.667 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{ub}}{\phi} = \frac{166.540.000}{0,75} = 607.386.667 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\ &= \frac{607.386.667 + 607.386.667}{3150} \\ &= 385.642 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa  
(SNI 03-2847-2002).

$$\sqrt{f'c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \text{ (*memenuhi*)}$$

#### Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= \left[ 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right] \times \left[ \frac{\sqrt{f'c'}}{6} \right] \times b_w \times d \\ &= \left[ 1 + \frac{1.663.343}{14 \times 202.500} \right] \times \left[ \frac{\sqrt{30}}{6} \right] \times 450 \times 389 \\ &= 253.554 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 450 \times 389 \\ &= 58.350 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 450 \times 389 \\ &= 319.596,112 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 450 \times 389 \\ &= 639.192,225 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$  Tidak Perlu Tulangan Geser  
 $385.642 \text{ N} \geq 95.083 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $97.505 \text{ N} \leq 385.642 \text{ N} \geq 190.166 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $190.166 \text{ N} \leq 385.642 \text{ N} \geq 233.928.232 \text{ N}$  (**Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq [V_c + (1/3 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d)]$   
 $\rightarrow$  Tulangan Geser  
 $233.928.232 \text{ N} \leq 385.642 \text{ N} \geq 429.862,82 \text{ N}$  (**Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned} \Phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \Phi V_c \\ &= \frac{385.642 - 190.166}{0,75} \\ &= 260.635 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 4 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ buah} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 4 \\ &= 314,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{314,28 \times 240 \times 389}{260,635} \\
 &= 113 \text{ mm} \\
 &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq \frac{d}{2} \\
 100 \text{ mm} &\leq \frac{389 \text{ mm}}{2} \\
 100 \text{ mm} &\leq 194,5 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 600 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$ .

**Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Kolom**

Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang **Lo** dari muka hubungan balok-kolom **So**. Spasi **So** tersebut tidak boleh melebihi :

[SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2)]

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,  
 $S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$   
 $100 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$   
 $100 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- b) 24 kali diameter sengkang ikat,  
 $S_o \leq 24 \times \emptyset \text{ sengkang}$   
 $100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$   
 $100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- c)  $S_o \leq 300 \text{ mm}$   
 $100 \leq 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)



*Maka, dipakai So sebesar Ø10 – 100 mm.*

Panjang **Lo** tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,  

$$Lo = \frac{1}{6} (3600 - 450) \text{ mm}$$

$$Lo = \frac{1}{6} (3150) \text{ mm}$$

$$Lo = 525 \text{ mm}$$
- b) Dimensi terbesar penampang kolom  

$$Lo = 450 \text{ mm}$$
- c)  $Lo > 500 \text{ mm}$

*Maka dipakai Lo sebesar 525 mm.*

***Sehingga di pasang sengkang sebesar Ø10 – 100 mm sejarak 800 mm dari muka hubungan balok kolom.***

Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times So = 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$ .

***Maka pada daerah setelah sejarak Lo = 525 mm dari muka hubungan balok kolom tetap di pasang sengkang sebesar Ø10 – 100 mm.***

#### **4.7.3 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom**

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan Adalah  $0,07 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.16.1]

$$\begin{aligned}
 0,07 \times f_y \times d_b &\geq 300 \text{ mm} \\
 0,07 \times 400 \times 22 &\geq 300 \text{ mm} \\
 616 \text{ mm} &\geq 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 620 mm

#### 4.7.4 Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.(3), panjang sambungan lewatan untuk tulangan D22 harus di ambil sebesar :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f_c'}} \times \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)}$$

Dimana,

$l_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$\beta$  = faktor pelapis

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\alpha$  = faktor lokasi penulangan

$c$  = spasi atau dimensi selimut beton

$K_{tr}$  = indeks tulangan transversal, sebagai penyederhanaan perencanaan, diperbolehkan mengasumsikan  $K_{tr} = 0$  bahkan untuk kondisi dimana tulangan transversal dipasang.

Tabel 4.12 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

$\alpha$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
$\beta$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ , atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

- $\lambda$  = faktor beton agregat ringan  
 $\gamma$  = faktor ukuran batang tulangan

Tabel 4.13 Faktor Beton Agregat Ringan

$\gamma$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila $f_{et}$ disyaratkan, maka $\lambda$ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{et})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 \times 400}{10 \sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1,5 \times 1 \times 1}{\left(\frac{40+0}{22}\right)}$$

$$\frac{l_d}{d_b} = 65,73 \times 0,94$$

$$l_d = 65,73 \times 0,94 \times 22$$

$$l_d = 1.359,23 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times 400 \text{ Mpa}$$

$$= 240 \text{ Mpa}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 12.6.4]

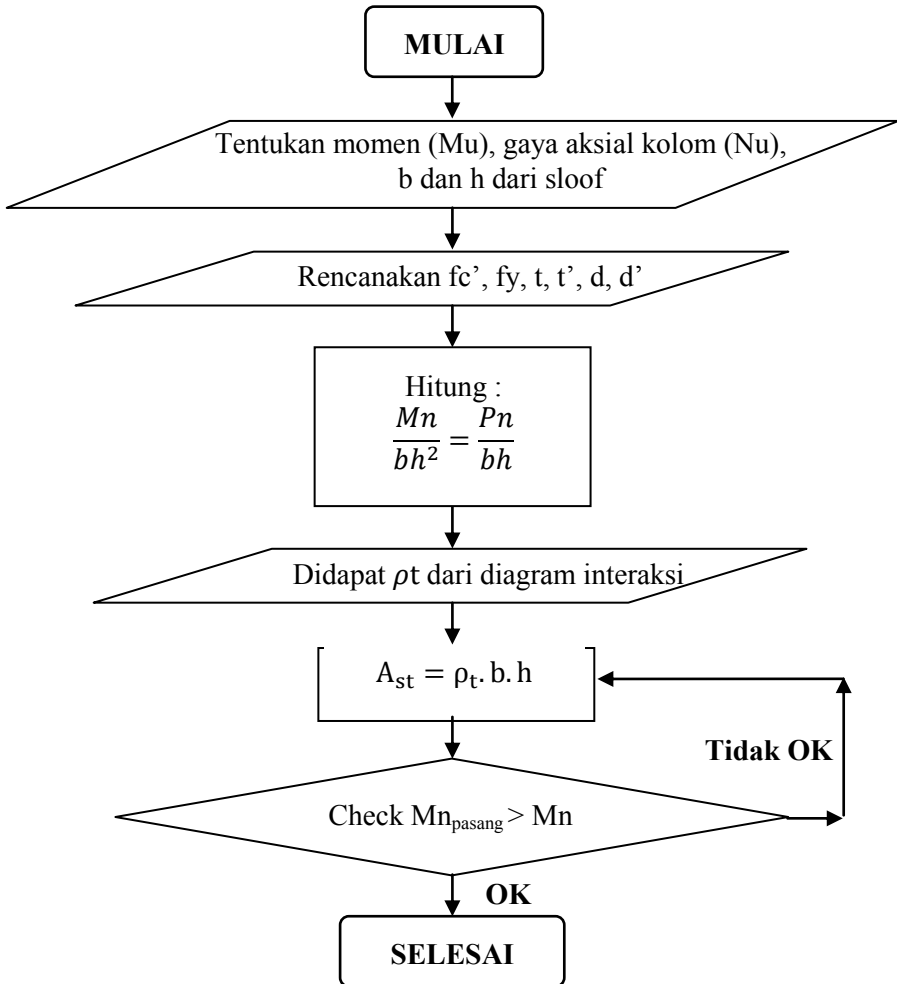
$$F_s > 0,5 f_y$$

$$l_d \text{ pakai} = 1,3 l_d = 1766 \text{ mm} \approx 1800 \text{ mm}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.17.2.3]

#### 4.8 Perhitungan Sloof

Berikut ini diagram alur perhitungan penulangan sloof :



#### 4.8.1 Perhitungan Penulangan Sloof

Untuk pembebanan sloof ini didapat dari analisa struktur SAP 2000 dengan daerah tinjauan frame 461 karena pada bentang itu memiliki nilai momen yang besar pada tinjauan tersebut.

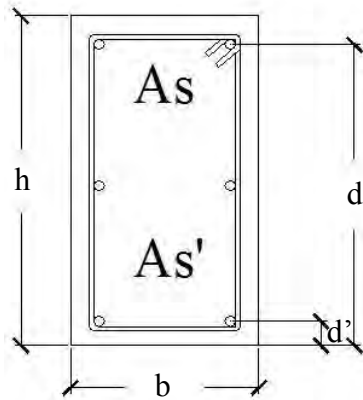
⇒ Data-data penulangan sloof :

Tipe sloof	: S1 (30/45)
As sloof	: 5; [E-F]
Bentang sloof (L balok)	: 7000 mm
Dimensi sloof (b balok)	: 300 mm
Dimensi sloof (h balok)	: 4500 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 12 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 25 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.1]
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	: 25 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.6.2]
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
	[SNI 03-2847-2002 pasal 9.7.1]
Faktor $\beta_1$	: 0,85
	[SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.(3)]
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ )	: 0,8
	[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(1)]
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	: 0,75
	[SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.2.(3)]

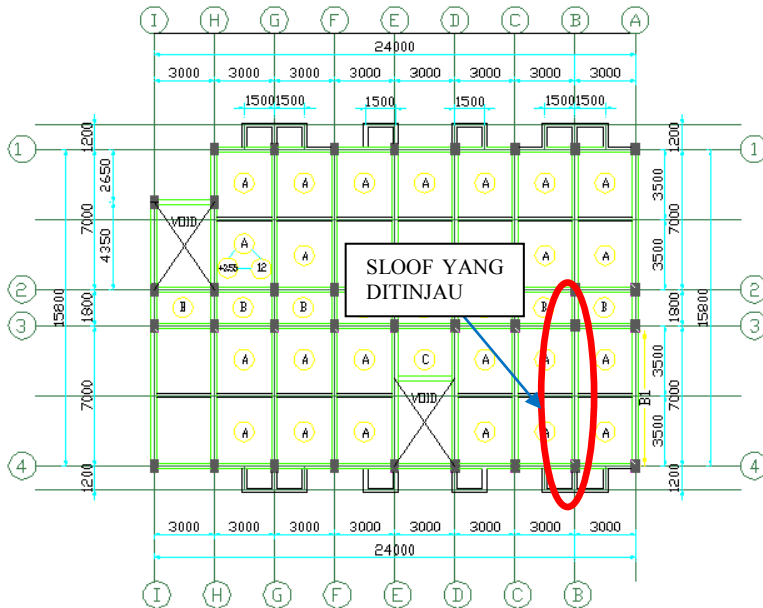
Maka, tinggi efektif sloof :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 450 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \cdot 22) \\ &= 387 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \cdot 22) \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.77 Tinggi Efektif Sloof

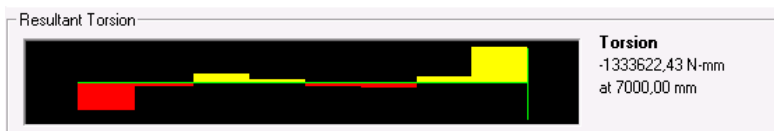


Gambar 4.78 Denah Sloof

**Hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 :**

Momen torsi yang terjadi pada sloof

Kombinasi  $1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3 \text{ EQ}_x + 1 \text{ EQ}_y$



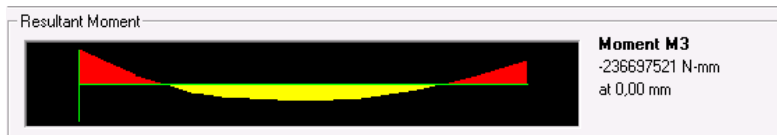
Momen torsi : 1.333.622,46 Nmm

### Momen lentur yang terjadi pada sloof

Hasil momen yang didapat berasal dari analisa struktur SAP 2000, dan akan diambil nilai kombinasi terbesar dari kombinasi sebagai berikut :

1. Kombinasi Beban Mati (1,4 DL)  
= 220.985.976 Nmm
2. Kombinasi Beban Mati dan Beban Hidup (1,2DL + 1,6LL)  
= 227.214.538 Nmm
3. Kombinasi Beban Gempa (1,2DL + 1LL + 1Ex + 0,3Ey)  
= 211.444.153 Nmm
4. Kombinasi Beban Gempa (1,2DL + 1LL - 1Ex - 0,3Ey)  
= 236.697.521 Nmm

Berdasarkan dari hasil tiga kombinasi tersebut, maka digunakan nilai Mu maksimum sebesar :



**Mu maksimum = 236.697.521 Nmm**

### Gaya aksial kolom

Posisi sloof diapit oleh 2 kolom, maka perlu ditinjau nilai P dari keduanya yang paling maksimum. Didapat dari hasil analisa struktur SAP 2000 :

#### Pu dari kolom kiri

- $P_{\text{kombinasi 1}} = 1,4DL$   
 $= 1.651.362 \text{ N}$   
 $P_{\text{kombinasi 2}} = 1,2DL + 1,6LL$   
 $= 1.619.943 \text{ N}$   
 $P_{\text{kombinasi 3}} = 1,2DL + 1LL + 1Ex + 0,3Ey$



$$\begin{aligned}
 &= 1.456.494 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 4}} &= 1,2DL + 1LL + 0,3Ex + 1Ey \\
 &= 1.537.995 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 5}} &= 0,9DL + 1Ex + 0,3Ey \\
 &= 975.403 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 6}} &= 0,9DL + 0,3Ey + 1Ey \\
 &= 1.056.904 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka diambil P max sebesar = 1.651.362 N

Pu dari kolom kanan

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kombinasi 1}} &= 1,4DL \\
 &= 1.380.814 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 2}} &= 1,2DL + 1,6LL \\
 &= 1.388.424 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 3}} &= 1,2DL + 1LL - 1Ex + 0,3Ey \\
 &= 1.665.359 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 4}} &= 1,2DL + 1LL + 0,3Ex + 1Ey \\
 &= 1.212.533 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 5}} &= 0,9DL + 1Ex + 0,3Ey \\
 &= 537.793 \text{ N} \\
 P_{\text{kombinasi 6}} &= 0,9DL + 0,3Ey + 1Ey \\
 &= 788.601 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka diambil P max sebesar = 1.665.359 N

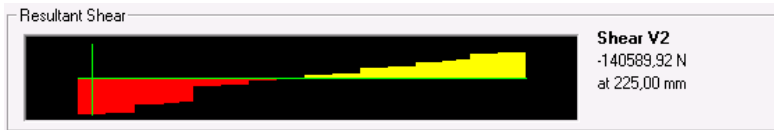
Maka digunakan nilai P maks antara kolom kiri dan kolom kanan yaitu sebesar :



**P maksimum = 1.665.359 N**

### Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL, dari analisa SAP 2000 didapatkan :

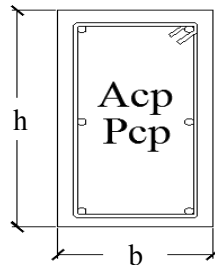


**Gaya geser terfaktor  $V_u = 140.589 \text{ N}$**

(Dimana  $V_u$  diambil sejarak d pada muka kolom).

### Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/45



Gambar 4.79 Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

### Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 135.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Parimeter luar irisan penampang beton $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) \\ &= 1.500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (300 - 40 - 12) \times (450 - 40 - 12) \\
 &= 74.464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

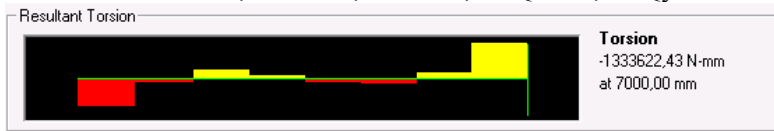
$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300 - 40 - 12) + (450 - 40 - 12)] \\
 &= 1.132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.8.2 Perhitungan Penulangan Puntir**

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 EQx + 1,0 EQy



$$T_u = 1.333.622 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{1.333.622}{0.75} \\
 &= 1.778.163 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang daripada :

$$Tu_{\min} = \frac{\phi \sqrt{f_c}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.1(a)]

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \frac{0.75 \sqrt{30}}{12} \left( \frac{135.000^2}{1.500} \right) \\ &= 4.159.268,17 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen terfaktor maksimum  $Tu$  dapat diambil sebesar :

$$Tu_{\max} = \frac{\phi \sqrt{f_c}}{3} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.2.2(a)]

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \frac{0.75 \sqrt{25}}{3} \left( \frac{135.000^2}{1.500} \right) \\ &= 16.637.072,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :  $Tu_{\min} > Tu$  → tidak memerlukan tulangan puntir  
 $Tu_{\min} < Tu$  → memerlukan tulangan puntir

$$Tu_{\min} < Tu$$

4.159.268,17 Nmm > 1.333.622 Nmm (**tidak memerlukan tulangan puntir**)

Jadi, penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir yang berupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

#### **4.8.3 Perhitungan Penulangan Lentur Sloof**

Akibat kombinasi 1,2DL + 1LL - 1Ex - 0,3Ey

$$Mu_{\max} = 236.697.521 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{236.697.521}{0,8} \\
 &= 295.871.901 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$P \text{ maksimum} = 1.665.359 \text{ N}$$

Sehingga gaya tarik ( $P_n$ ) yang terjadi pada sloof adalah :

$$\begin{aligned}
 10\% P \text{ maksimum} &= 10 \% \times 1.665.359 \text{ N} \\
 &= 166.535,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}
 \frac{M_u}{bh^2} &= \frac{236.697.521}{300 \times 450^2} \\
 &= 3,9 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}
 \frac{P_n}{bh} &= \frac{166.535,9}{300 \times 450} \\
 &= 0,99 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari diagram interaksi di dapat nilai  $\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0,02$

#### Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times h \\
 &= 0,02 \times 400 \times 600 \\
 &= 2.700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Luasan tulangan lentur

$$D22 = 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n_{pasang} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan pakai}} = \frac{2.700 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22)^2}$$

$$= 7,1 \text{ buah} \sim \text{dipakai 8 Buah}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As}_{pasang} &= n_{pasang} \times \text{Luasan } D_{lentur} \\ &= 8 \times 380,13 \\ &= 3041,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\text{As}_{pasang} \geq \text{As}_{perlu}$$

$$3041,06 \text{ mm}^2 \geq 2.700 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

*Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4D22 dan tulangan tekan 1 lapis 4D22*

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \phi_{geser}) - (jml \text{ tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 36 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \leq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$36 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm (dipasang 1 lapis)}$$

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (\text{jml tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 36 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$36 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm (dipasang 1 lapis)}$$

Tinggi Balok Gaya Tekan Beton

$$a = \frac{(A_{s_{\text{pasang}}} \times f_y)}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$a = \frac{(3041,06 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 300}$$

$$a = 159,01 \text{ mm}$$

Gaya Tekan Beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 159,01 \\ &= 1.216.424,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Pasang

$$\begin{aligned} Mn_{\text{pasang}} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1.216.424,67 \times \left(387 - \frac{159,01}{2}\right) \\ &= 374.044.650,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M n_{\text{pasang}} > M_u$$

$$0,8 \times 374.044.650,6 \text{ N.mm} > 236.697.521 \text{ N.mm}$$

$$299.235.720,5 \text{ N.mm} > 236.697.521 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk sloof S1(30/45) dipakai tulangan tarik 1 lapis 4D22 dan tulangan tekan 1 lapis 4D22 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan tarik 1 lapis**

**Lapis 1 : 4D22**

- **Tulangan Tekan 1 Lapis**

**Lapis 1 : 4D22**

#### 4.8.4 Perhitungan Penulangan Geser Sloof

⇒ Dengan data balok sebagai berikut :

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\Phi \text{ reduksi} = 0,75$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 11.3.2.3]

$$\text{lebar (b)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{tinggi (h)} = 450 \text{ mm}$$

$$\emptyset \text{ tulangan sengkang} = 12 \text{ mm}$$

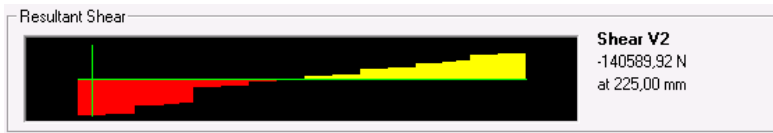
Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada **S1 (30/45)**, didapat :

$$M_n\text{-kiri (Mnl)} = 374.044.650,6 \text{ Nmm (momen pasang)}$$

$$M_n\text{-kanan (Mnr)} = 374.044.650,6 \text{ Nmm (momen pasang)}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2DL + 1,0LL, dari analisa SAP 2000 didapatkan :



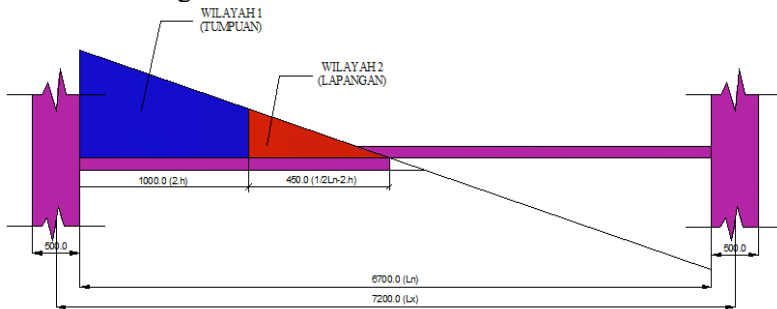


gaya geser terfaktor  $V_u = 140.589,92 \text{ N}$   
(Dimana  $V_u$  diambil pada sejarak  $d$  dari muka kolom)

### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. *Wilayah 1 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.2**)
2. *Wilayah 2 (daerah lapangan)*, dimulai dari wilayah 1 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



Gambar 4.80 Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

### Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi  $25/3 \text{ MPa}$  (**SNI 03-2847-2002**).

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,47 \leq 8,33 \text{ (*memenuhi*)}$$

#### Kuat Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 387$$

$$= 105.984,31 \text{ N}$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.3.1]

#### Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 300 \times 450$$

$$= 38.700 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 450$$

$$= 211.968,63 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 450$$

$$= 423.937,26 \text{ N}$$

#### Penulangan Geser Balok

##### *1. Pada Wilayah 1 (Daerah Tumpuan)*

Gaya geser pada wilayah 1 diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{n} + \frac{Wu \times n}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{n} + Vu$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 23.10.3.(1)]

Dimana :

$Vu1$  = Gaya geser pada muka perletakan

$Mnl$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$Mnr$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$n$  = Panjang bersih balok

Maka  $Vu1$  :

$$Vu1 = \frac{374.044.650,6 + 374.044.650,6}{7000} + 140.589,92$$

$$Vu1 = \frac{748.089.301}{7000} + 140.589,92$$

$$Vu1 = 247.459,82 \text{ N}$$

Cek Kondisi Geser :

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$  Tidak Perlu Tulangan Geser

$247.459,82 \text{ N} \geq 39.774,11 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum

$39.774,11 \text{ N} \leq 247.459,82 \text{ N} \geq 79.488,23 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 3

$\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \cdot (Vc + Vsmin) \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum

$79.488,23 \text{ N} \leq 247.459,82 \text{ N} \geq 115.747,45 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

Kondisi 4

$\emptyset. (V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{smax}) \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum

$$115.747,45 \text{ N} \leq 247.459,82 \text{ N} \leq 238.464,7 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser sloof diambil berdasarkan **Kondisi 4**.

$$\begin{aligned} \Phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \Phi V_c \\ &= \frac{247.459,82 - 79.488,23}{0,75} \\ &= 223.962,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ buah} \\ &= (0,25 \times \pi \times 12^2) \times 2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{226,19 \times 240 \times 387}{223.962,11} \\ &= 93,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 2

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq \frac{d}{2} \\ 93,8 \text{ mm} &\leq \frac{387 \text{ mm}}{2} \\ 93,8 \text{ mm} &\leq 193,5 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 600 \text{ mm} \\ 93,8 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø12 – 75 mm.

### Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Sloof

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a)  $d/4$
- b) Delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang
- d) 300 mm

[SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2)]

$$S_{pakai} \leq \frac{d}{4}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq \frac{387 \text{ mm}}{4}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 96,75 \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{pakai} \leq 8 \times D_{lentur}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 176 \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{pakai} \leq 24 \times D_{sengkang}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 24 \times 12 \text{ mm}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 288 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$S_{pakai} \leq 300 \text{ mm}$$

$$93,8 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

**Sehingga, penulangan geser sloof S1 (30/45) pada Wilayah 1 (daerah tumpuan) dipasang Ø12 – 75 mm dengan sengkang 2 kaki.**

## 2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2}ln - 2h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2}ln} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} \\ &= \frac{247.459,82 \times (\frac{1}{2} \times 7000 - 2 \times 450)}{\frac{1}{2} \times 7000} \\ &= 101.340,68 \text{ N}\end{aligned}$$

Cek Kondisi Geser :

### Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$  Tidak Perlu Tulangan Geser  
 $101.340,68 \text{ N} \geq 39.744,11 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

### Kondisi 2

$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $39.744,11 \text{ N} \leq 101.340,68 \text{ N} \geq 79.488 \text{ N}$  (**Tidak Memenuhi**)

### Kondisi 3

$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times (V_c + V_{smin}) \rightarrow$  Tulangan Geser Minimum  
 $79.488 \text{ N} \leq 101.340,68 \text{ N} \leq 115.747 \text{ N}$  (**Memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan **Kondisi 3**.

Direncanakan menggunakan tulangan geser  $\phi 10 \text{ mm}$  dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times 3,14 \times d^2) \times n \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,25 \times \pi \times 12^2) \times 2 \\
 &= 226,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} \\
 &= \frac{226,19 \times 3 \times 240}{300} \\
 &= 542,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi 3*

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq \frac{d}{2} \\
 542,86 \text{ mm} &\geq \frac{387 \text{ mm}}{2} \\
 542,86 \text{ mm} &\geq 193,5 \text{ (*tidak memenuhi*)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 600 \text{ mm} \\
 542,86 \text{ mm} &\leq 600 \text{ mm (*memenuhi*)}
 \end{aligned}$$

*Sehingga dipakai tulangan geser Ø12 – 150 mm.*

### **Cek Persyaratan SRPMM Untuk Kekuatan Geser Balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi  $d/2$   
 [SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.(2)]

***Karena tidak semua memenuhi syarat, maka penulangan geser sloof di ambil pada jarak spasi syarat terkecil. Sehingga, penulangan geser sloof S1 (30/45) pada Wilayah***

**2 (daerah lapangan) dipasang Ø12 – 150 mm dengan sengkang 2 kaki**

#### 4.8.5 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Sloof

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2002 pasal 14**.

##### Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 pasal 14.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.1]

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2002 Tabel 11 Pasal 14.2** sebagai berikut :

Tabel 4.14 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c}}$	$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f_c}}$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.2]



Dimana,

$\lambda d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\alpha$  = faktor lokasi penulangan

$\beta$  = faktor pelapis

Tabel 4.15 Faktor Lokasi dan Faktor Pelapis

$\alpha$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal yang ditempatkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau	1,3
Tulangan lain	1,0
$\beta$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tanpa pelapis	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan

Tabel 4.16 Faktor Beton Agregat Ringan

$\gamma$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Batang D-22 atau lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor beton agregat ringan	
Apabila digunakan beton agregat ringan	1,3
Walaupun demikian, apabila $f_{ct}$ disyaratkan, maka $\lambda$ boleh diambil sebesar $\sqrt{f'_c} / (1,8f_{ct})$ tetapi tidak kurang dari	1,0
Apabila digunakan beton berat normal	1,0

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.2.4]

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_d}{d_b} &= \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \times \sqrt{f_c}} \geq 300 \text{ mm} \\ \lambda_d &= \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda \times d_b}{5 \times \sqrt{f_c}} \geq 300 \text{ mm} \\ &= \frac{3 \times 400 \times 1 \times 1,5 \times 1 \times 22}{5 \times \sqrt{30}} \geq 300 \text{ mm} \\ &= 1.445,98 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_d \\ \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{2700}{3041,06} \times 1.445,98 \\ &= 1283,81 \text{ mm} \approx 1.285 \text{ mm}\end{aligned}$$

***Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1.285 mm.***

#### Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5***

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

[SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.1]

Berdasarkan ***SNI 03-2847-2002 Pasal 14.5.2*** panjang penyaluran dasar untuk suatu batang tulangan tarik pada penampang tepi atau yang berakhir dengan kaitan dengan  $f_y$  sama dengan 400 MPa adalah :

$$\lambda_{hb} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_c}} \geq 8 \times d_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \times 22}{\sqrt{30}} \geq 8 \times 22 \\
 &= 401,66 \text{ mm} \geq 176 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{d \text{ reduksi}} &= \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}} \times \lambda_{hb} \\
 &= \frac{2700}{3041,06} \times 401,66 \\
 &= 356,61 \text{ mm} \approx 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

***Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 360 mm.***

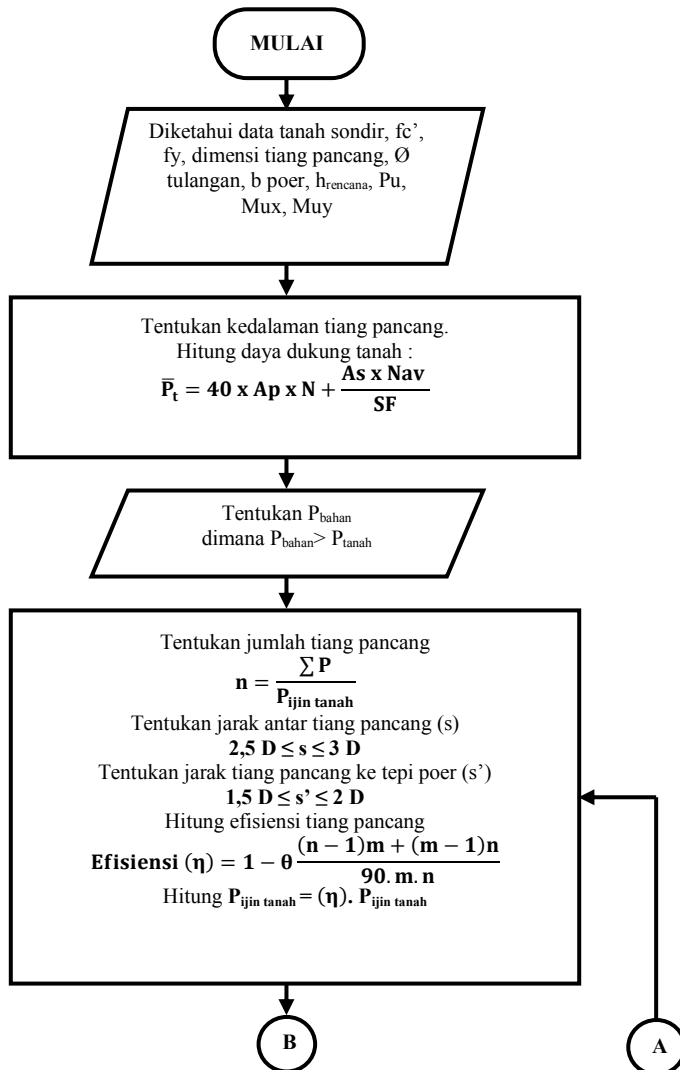
Untuk pembengkokan tulangan dengan sudut  $90^0$  maka ditambah perpanjangan  $12d_b$  pada ujung bebas kait.

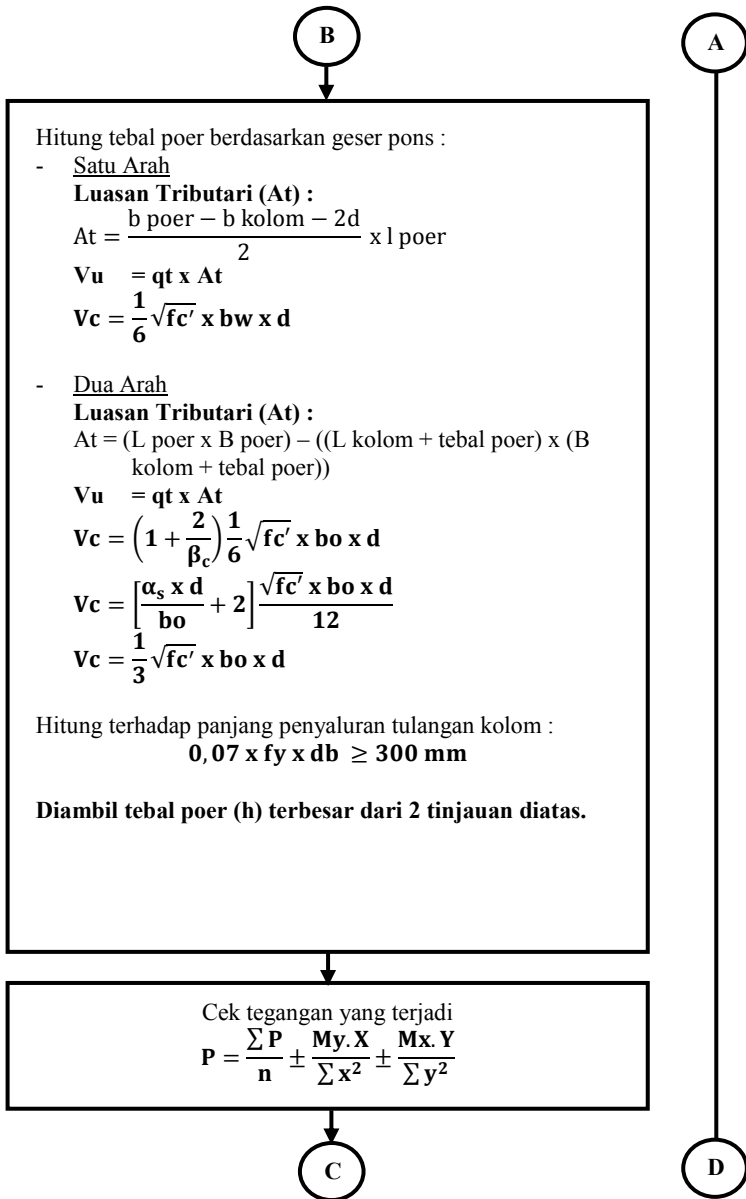
[SNI 03-2847-2002 Pasal 9.1]

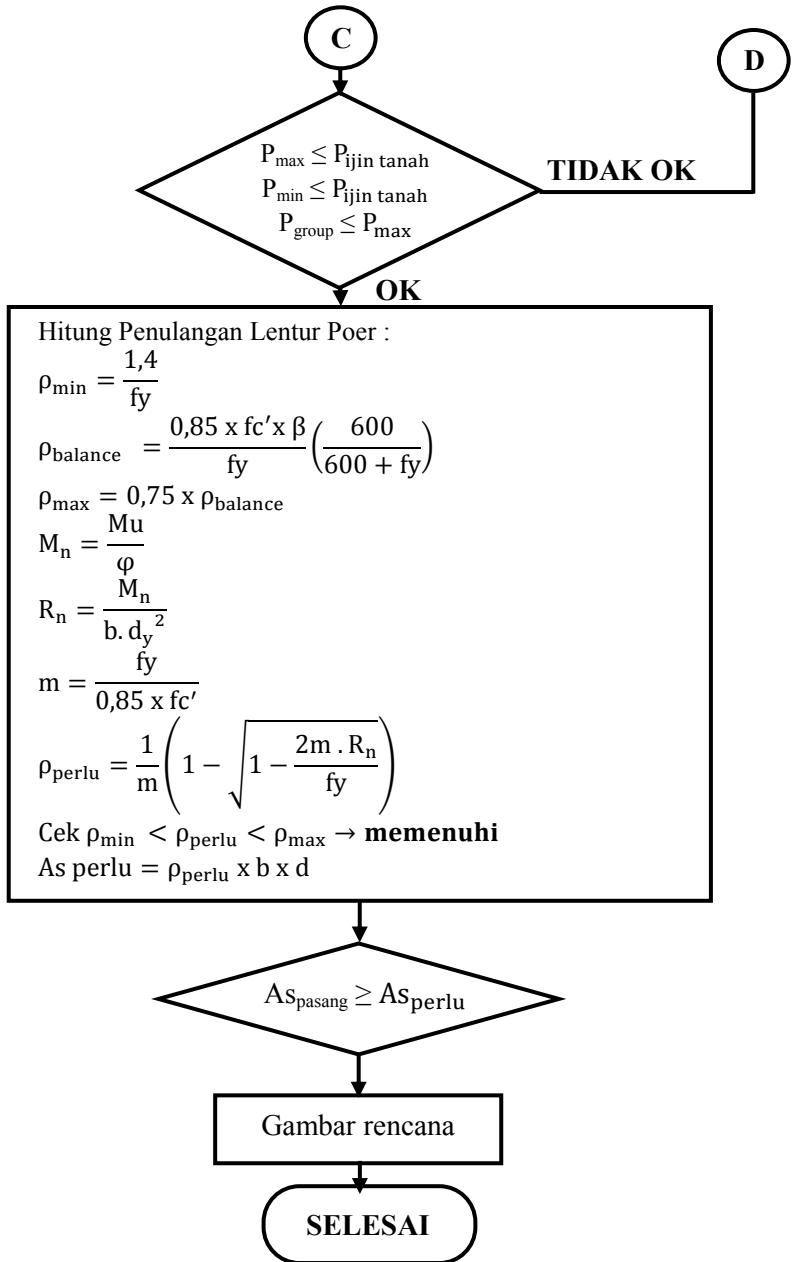
$$\begin{aligned}
 12 \times d_b &= 12 \times 22 \\
 &= 264 \text{ mm} \approx \mathbf{265 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

#### 4.9 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang Dan Poer

Berikut ini diagram alur perhitungan pondasi :







#### 4.9.1 Perhitungan Pondasi Tiang Pancang Dan Poer

Pondasi merupakan bagian dari suatu struktur bangunan yang dikategorikan sebagai stuktur bangunan bawah. Pondasi berfungsi sebagai perantara dalam meneruskan beban bagian atas dan gaya-gaya yang bekerja pada pondasi tersebut ke tanah pendukung dibawahnya tanpa terjadi penurunan tak sama pada sistem strukturnya, juga tanpa terjadinya keruntuhan pada tanah.

Perencanaan pondasi suatu struktur bangunan harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya jenis, kondisi danstruktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan atau daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi diatasnya. Dalam perencanaan suatu pondasi yang baik tidak hanya pondasi harus kuat dan aman namun harus di tinjau dari segi efisien dan memungkinkan pelaksanaannya di lapangan.

##### 4.9.1.1 Perencanaan pondasi P1

Berikut adalah data-data perencanaan pondasi :

- a) Kedalaman tiang pancang : 20,5 m
- b) Diameter tiang pancang : 40 cm
- c) Keliling tiang pancang :  $= \pi \times d$   
 $= \pi \times 40 \text{ cm}$   
 $= 125,66 \text{ cm}$
- d) Luas tiang pancang :  $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$   
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times (40^2)$   
 $= 1256,637 \text{ cm}^2$   
 $= 0,1256 \text{ m}^2$
- e) Luas selimut tiang pancang :  $= \pi \times d \times h$   
 $= \pi \times 0,40 \times 20,5$   
 $= 25,76 \text{ m}^2$
- f) Tebal selimut beton : 75 mm

[SNI 03-2847-2002, Pasal 9.7.1.a]

- |                          |   |         |
|--------------------------|---|---------|
| g) Mutu beton ( $f_c'$ ) | : |         |
| - Poer                   | : | 30 Mpa  |
| h) Mutu Baja             | : |         |
| - Poer                   | : | 400 Mpa |

#### 4.9.1.2 Perhitungan Daya Dukung Ijin ( $P_{ijin}$ )

Daya dukung ijin pondasi dihitung dari data SPT, dari data tersebut diperoleh nilai penetrasi dan dalam perhitungannya menggunakan *Metode Mayerhoff*. Dan faktor keamanan  $SF_1 = 3$ , Dari data SPT kedalam 20,5 m didapatkan nilai :

- Besar nilai SPT ujung tiang ( $N$ ) = 33 blow/m
- Besar nilai rata-rata SPT sepanjang tiang ( $N_{av}$ ) = 27,625 blow/m

#### 4.9.1.3 Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tunggal

$$\begin{aligned}\bar{P}_t &= 40 \times A_p \times N + \frac{A_s \times N_{av}}{SF} \\ \bar{P}_t &= 40 \times 0,1256 \times 33 + \frac{25,76 \times 27,625}{5} \\ \bar{P}_t &= 308,2 \text{ ton} \\ \bar{P}_{t \text{ ijin tanah}} &= \frac{\bar{P}_t}{3} \\ \bar{P}_{t \text{ ijin tanah}} &= \frac{308,2 \text{ ton}}{3} \\ \bar{P}_{t \text{ ijin tanah}} &= 102,7 \text{ ton}\end{aligned}$$

Kekuatan bahan berdasarkan data tiang pancang dari PT. Wijaya Karya Beton untuk diameter (tipe C) adalah  
 $P$  ijin bahan = 111,5 ton

Cek persyaratan :

$$\bar{P}_{t \text{ ijin tanah}} < P \text{ ijin bahan}$$



$$102,7 \text{ ton} < 111,5 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

#### 4.9.1.4 Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Diketahui output SAP :

- Akibat beban tetap (1,0DL+1,0LL)
 
$$P = 140.940,92 \text{ kg}$$

$$= 140,0949 \text{ ton}$$
- Akibat beban sementara (1,0DL+1,0LL+1,0EQX)
 
$$P = 162.305,01 \text{ kg}$$

$$= 162,305 \text{ ton}$$
- Akibat beban sementara (1,0DL+1,0LL+1,0EQY)
 
$$P = 114.059 \text{ kg}$$

$$= 114,059 \text{ ton}$$

Maka diambil  $P_{\max} = 162,305 \text{ ton}$

❖ Perencanaan dimensi Poer tipe 1 :

- Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri poer :

$$P_{\max} = \frac{162,305 \text{ ton} + \sum P}{\sum P} = 162,305 \text{ ton}$$

$$n = \frac{\sum P}{P_{\text{ijin tanah}}} = \frac{162,305 \text{ ton}}{102,7 \text{ ton}} = 1,58 \text{ buah}$$

$$\approx 2 \text{ buah}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 2 buah.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok jarak antar tiang pancang (S) menurut buku karangan **Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa, Jilid 2** disebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s) :

$$s \geq 2,5 D$$

$$s \geq 2,5 \times 40$$

$$s \geq 100 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $s = 100 \text{ cm}$

Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer ( $s'$ ) diperkirakan :

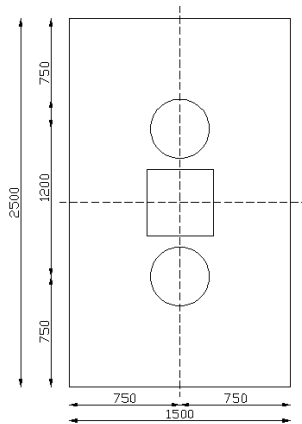
$$s' = 1,5 D$$

$$s' = 1,5 \times 40$$

$$s' = 60 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $s' = 75 \text{ cm}$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar poer, dimana dimensi poer adalah :



Gambar 4.81 Penampang poer tipe P1

- Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi poer :

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer di asumsikan 500mm :

$$P_{\max} = 162,305 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat poer } (1,5\text{m} \times 2,5\text{m} \times 0,5\text{m} \times 2,4 \text{ ton/m}^3) \\
 &= \frac{4,5 \text{ ton}}{166,805 \text{ ton}} + \\
 &\quad \frac{\sum P}{102,7 \text{ ton}} = 1,623 \text{ buah} \\
 &\approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

**Jadi masih tetap dibutuhkan 2 buah tiang pancang dengan dimensi penampang poer (1500 x 2500).**

#### 4.9.1.5 Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi

Sesuai referensi buku “ANALISA DAN DESAIN PONDASI, Jilid 2” karya Joseph E. Bowles, pada halaman 379 perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan nilai efisiensi dari hubungan tersebut :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90. m. n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris

n = banyaknya baris

D = diameter tiang pancang

s = jarak antar As tiang pancang

$\theta$  = arc tg D/s

$$= \text{arc tg } 40 / 100 = 21,8$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - \theta \left( \frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90. m. n} \right) \\
 &= 1 - 21,8 \left( \frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90.2.1} \right) \\
 &= 0,88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin tanah}} &= 0,88 \times P_{\text{ijin tanah}} \\
 &= 0,88 \times 102,7 \text{ ton} \\
 &= 90,29 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$P_{\text{ijin tanah}} < P_{\text{ijin bahan}}$$

$$90,29 \text{ ton} < 111,5 \text{ ton} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin tanah total}} &= \text{jumlah tiang} \times P_{\text{ijin tanah}} \\
 &= 2 \times 102,7 \text{ ton} \\
 &= 205,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Karena dimensi penampang poer dan tiang pancang sudah diperoleh semuanya maka dilakukan pengecekan akhir antara  $P_{\text{max}} \leq P_{\text{ijin tanah total}}$ .

Beban pondasi setelah ditambah berat sendiri tiang pancang dan poer :

$P_{\text{u max}}$  :

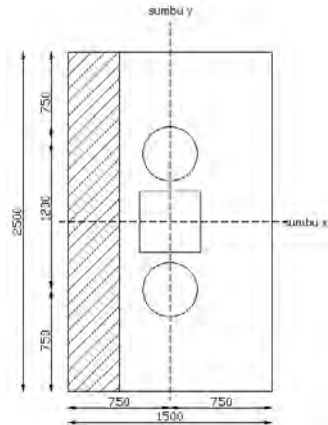
$$\begin{aligned}
 P_{\text{u}} &: 162,305 \text{ ton} \\
 \text{Berat sendiri poer} &: 4,5 \text{ ton} \\
 \text{Berat sendiri tiang pancang} &: 0,191 \text{ t/m} \times 20,5 \text{ m} \times 2 \\
 &= 7,831 \text{ ton} \\
 \Sigma P &= 174,63 \text{ kg} \\
 &= 174,63 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{u max}} \leq P_{\text{ijin tanah total}}$$

$$174,63 \text{ ton} \leq 205,4 \text{ ton} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reaksi perlawanan tanah (qt)} &= \left( \frac{\Sigma P_{\text{total}}}{\text{luas poer}} \right) \\
 &= \left( \frac{205470,6}{1500 \times 2500} \right) \\
 &= 0,055 \text{ kg/mm}^2 \\
 &= 0,55 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.9.1.6 Perhitungan Geser Satu Arah Pada Poer



Gambar 4.82 Bidang Kritis Pons Satu Arah

Luasan tributari  $A_t$  (mm<sup>2</sup>)

$$A_t = \left( \frac{L_{\text{poer}} - B_{\text{kolom}} - 2 t_{\text{poer}}}{2} \right) \times B_{\text{poer}}$$

$$A_t = \left( \frac{2500 - 450 - 2d}{2} \right) \times 1500$$

$$A_t = (1025 - d) \times 1500$$

$$A_t = 1537500 - 1500d$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$V_u = q_t \times A_t$$

$$= 0,55 \text{ N/mm}^2 \times (1537500 - 1500d)$$

$$= 842429,59 - 821,88 d$$

Gaya Geser yang mampu dipikul oleh beton  $V_c$  (N)

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d$$

[SNI 03-2847-2002 Pasal 13.8.6]

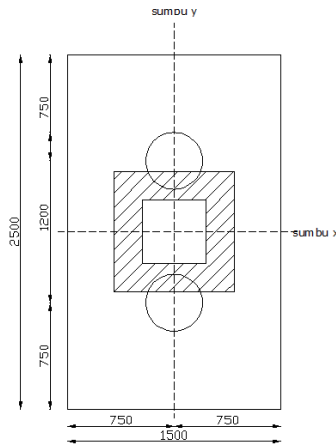
Syarat :  $V_u \leq \phi V_c$

$$842429,59 - 821,88 d \leq 0,75 \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 2500 \times d$$

$$857033,887 \leq 2533,515 \times d$$

$$d \geq 332,51 \text{ mm}$$

#### 4.9.1.7 Perhitungan Geser Dua Arah Pada Poer



Gambar 4.83 Bidang Kritis Pons Dua Arah

Berdasarkan **SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (a), (b), dan (c)**, untuk perencanaan pelat atau fondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka  $V_c$  harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai  $V_c$  terkecil.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$\beta_c = 450/450 = 1$

$b_o$  = keliling dari penampang kritis

$$V_c = \left[ \frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right] \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12}$$

Dimana :

$\alpha_s = 40$  untuk kolom tengah

$\alpha_s = 30$  untuk kolom tepi

$\alpha_s = 20$  untuk kolom sudut

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Luasan tributari  $A_t$  (mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} A_t &= (L_{poer} \times B_{poer}) - ((L_{kolom} + \text{tebal poer}) \times \\ &\quad (B_{kolom} + \text{tebal poer})) \\ &= 3750000 - ((450 + d) \times (450 + d)) \\ &= 3750000 - (202500 + 900d + d^2) \\ &= 3547500 + 900d - d^2 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser  $V_u$  (N)

$$\begin{aligned} V_u &= q_t \times A_t \\ &= 0,55 \times (357500 + 900d - d^2) \\ &= 1943752,17 - 493,129d - 0,55d^2 \end{aligned}$$

Persamaan 1

$$\begin{aligned} V_c &= \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\ &\quad [\text{SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (a)}] \\ V_c &= \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \frac{1}{6} \sqrt{30} \times \{2 \times (450 + 450)\} + 4d \times d \\ &= 2,83 \times (1800 \times 4d) \times d \\ &= 2,83 \times (1800d \times 4d^2) \\ &= 5086,34d \times 11,303d^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $V_u \leq \phi V_c$

$$1943752,17 - 493,129.d - 0,55.d^2 \leq 0,75 (5086,34d \times 11,303 d^2)$$

$$9,025d^2 + 4307,88d - 1943752 > 0$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_1 = 283,192 \text{ mm}$$

$$d_2 = -760,51 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :  $d > 283,192\text{mm}$

Persamaan 2

$$V_c = \left( \frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \left( \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12} \right)$$

*[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (b)]*

$$V_c = \left( \frac{40 \times d}{4d + 1800} + 2 \right) \left( \frac{\sqrt{30} \times (4d + 1800) \times d}{12} \right)$$

$$V_c = \left( \frac{48d + 3600}{4d + 1800} \right) \cdot \left( \frac{5,47 \times (4d + 1800) \times d}{12} \right)$$

$$V_c = \left( (48d + 3600) \times \frac{5,47d}{12} \right)$$

$$V_c = ((48d + 3600) \times 0,456d)$$

$$V_c = 21,9d^2 + 1643,17d$$

$V_u \leq \phi V_c$

$$1943752,17 - 493,129d - 0,55d^2 \leq 0,75(21,9d^2 + 1643,17d)$$

$$16,98d^2 + 1725,5d - 1943752 \geq 0$$



$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_1 = 291,33 \text{ mm}$$

$$d_2 = -392,95 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :  $d > 291,33 \text{ mm}$

### Persamaan 3

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

[SNI 03-2847-2002, Pasal 13.12(2) poin (c)]

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{30} \times (1800 + 4d) \times d$$

$$V_c = 1,825 \times (1800d + 4d^2)$$

$$V_c = 7,3d^2 + 3286,34d$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1943752,17 - 493,129d - 0,55d^2 \leq 0,75(7,3d^2 + 3286,34d)$$

$$7,85 d^2 + 3779,465 d - 1943752 \geq 0$$

$$d_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$d_1 = 312,037 \text{ mm}$$

$$d_2 = -793,443 \text{ mm}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah :  $d > 312,037 \text{ mm}$

Dipakai  $d = 312,037 \text{ mm}$

Dipakai  $h = (\text{tebal selimut} + D \text{ tul. Poer} + \frac{1}{2} D \text{ tul.}$

Poer) + D rencana

$$= (75 + 19 + 9,5) + 312,037$$

$$= 415,54 \approx 420 \text{ mm}$$

Cek berdasarkan panjang penyaluran tulangan kolom :

Panjang sambungan lewatan kolom

$$L_d = 0,07 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$[\text{SNI 03-2847-2002 psl 14.16.1}]$$

$$L_d = 0,07 \times 400 \times 22 = 616 \text{ mm}$$

Bengkokan  $90^\circ$  ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas kait.

$$[\text{SNI 03-2847-2002 psl 14.16.1}]$$

$$L = 12 d$$

$$= 12 \times 22 \text{ mm}$$

$$= 264 \text{ mm}$$

$$L_d \text{ vertikal} = 616 \text{ mm} - 264 \text{ mm}$$

$$= 352 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} > 352 \text{ mm} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka dipakai tinggi poer 500 mm

#### 4.9.1.8 Perhitungan Daya Dukung Tiang Dalam Kelompok

Dari output SAP 2000 diambil **joint 584** dan didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

- Akibat beban tetap (1,0 DL + 1,0 LL)
  - P = 140.940,92 kg
  - Mx = 1.127,48 kgm
  - My = 2305,55 kgm
- Akibat beban sementara (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0EQx)
  - P = 114049,23 kg
  - Mx = 207,69 kgm
  - My = 13744,1 kgm
- Akibat beban sementara (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0 EQy)
  - P = 162.305,01 kg
  - Mx = 13.206,62 kgm
  - My = 1361,08 kgm

#### ❖ P akibat pengaruh beban sementara

- Akibat beban sementara (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0EQy)
  - P = 162.305,01 kg

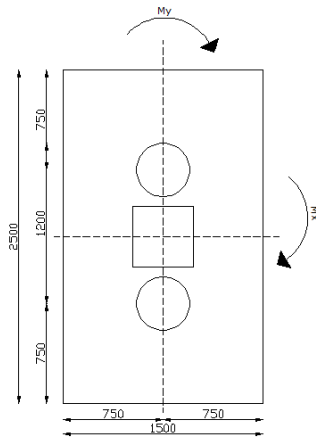
$$M_x = 13.206,62 \text{ kg.m}$$

$$M_y = 1361,08 \text{ kg.m}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut :

$$1. \text{ Berat sendiri poer } (1,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) \\ = 4500 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Beban aksial kolom} \\ (\text{output SAP 2000}) = \underline{162.305,01 \text{ kg} +} \\ \Sigma P = 166.805,01 \text{ kg} \\ = 166,805 \text{ ton}$$



Gambar 4.84 Penampang Poer Akibat Beban Sementara

Tabel 4.17 Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	$X^2$ (m)
X1	0	0
X2	0	0
$\Sigma X^2$	-	0
	Y (m)	$Y^2$ (m)
Y1	0,6	0,36

Y2	0,6	0,36
$\sum Y^2$	-	0,72

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

Karena nilai x (jarak tiang pancang ke sumbu x) tidak ada ( $x = 0$ ), maka pengaruh akibat momen Y tidak diperhitungkan, sehingga :

$$P_1 = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$P_1 = \frac{166805,01}{2} \pm \frac{13206,62 \times 0,6}{0,72}$$

$$P_1 = 94408,02 \text{ kg}$$

$$P_2 = 72396,98 \text{ kg}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 94408,02 \text{ kg}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) Pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.

$$P_{\max} = P_1 \leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,3$$

$$P_{\max} = 94408,02 \text{ kg} \leq 0,88 \times 102,7 \text{ kg} \times 1,3$$

$$P_{\max} = 94408,02 \text{ kg} \leq 117380 \text{ kg} \rightarrow \text{memenuhi}$$

Karena tidak ada eksentrisitas pada tiang pancang terhadap sumbu Y, maka pengaruh akibat momen Y

dipikul oleh tahanan momen tiang pancang itu sendiri sesuai spesifikasi tiang pancang tipe-C milik Wika Beton.

Direncanakan 2 tiang pancang maka :

$$\begin{aligned} M_y &= 1361,08 \text{ kgm/2} \\ &= 680,54 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kemampuan tahanan momen tiang pancang :

$$\begin{aligned} M_u &= 18 \text{ Tm} \\ &= 18000 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$M_n = 680,54 \text{ kgm} < M_u = 18000 \text{ kgm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

• Akibat beban sementara (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0EQx)

$$P = 114059,23 \text{ kg}$$

$$M_x = 207,69 \text{ kgm}$$

$$M_y = 13744,1 \text{ kgm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut :

1. Berat sendiri poer

$$(1,5 \text{m} \times 2,5 \text{m} \times 0,5 \text{m} \times 2400) = 4500 \text{ kg}$$

2. Beban aksial kolom

$$\begin{aligned} (\text{output SAP 2000}) &= 114059 \text{ kg} + \\ \sum P &= 118559,2 \text{ kg} \\ &= 118,559 \text{ ton} \end{aligned}$$

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

Karena nilai x (jarak tiang pancang ke sumbu x) tidak ada (x = 0), maka pengaruh akibat momen Y tidak diperhitungkan, sehingga :

$$P_1 = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$P_1 = \frac{118559,2}{2} \pm \frac{207,69 \times 0,6}{0,72}$$

$$P_1 = 59452,69 \text{ kg}$$

$$P_2 = 59106,54 \text{ kg}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 59452,69 \text{ kg}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) Pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.

$$\begin{aligned} P_{\max} &= P_2 \leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \times 1,3 \\ P_{\max} &= 59452,69 \text{ kg} \leq 0,88 \times 102,7 \text{ kg} \times 1,3 \\ P_{\max} &= 59452,69 \text{ kg} \leq 117380 \text{ kg} \rightarrow \text{memenuhi} \end{aligned}$$

Karena tidak ada eksentrisitas pada tiang pancang terhaddap sumbu Y, maka pengaruh akibat momen Y dipikul oleh tahanan momen tiangpancang itu sendiri sesuai spesifikasi tiang pancang tipe C milik Wika Beton.

Direncanakan 2 tiang pancang maka :

$$\begin{aligned} M_y &= 13744,1 \text{ kgm/2} \\ &= 6872 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kemampuan tahanan momen tiang pancang :

$$\begin{aligned} M_u &= 18 \text{ Tm} \\ &= 18000 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$M_n = 6872 \text{ kgm} < M_u = 18000 \text{ kgm} \rightarrow \text{memenuhi}$

➤ **P akibat pengaruh beban tetap**

- Akibat beban tetap (1,0 DL + 1,0 LL)

$P = 140940,92 \text{ kg}$

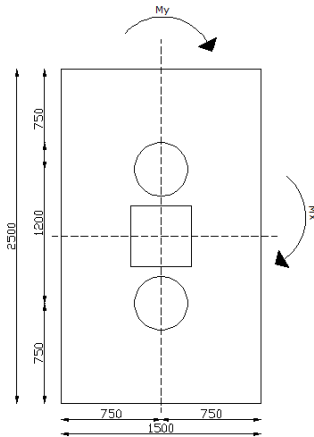
$M_x = 1127,48 \text{ kgm}$

$M_y = 2305,55 \text{ kgm}$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut :

3. Berat sendiri poer ( $1,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$ )  
 $= 4500 \text{ kg}$

4. Beban aksial kolom  
 (output SAP 2000)  
 $\Sigma P = \frac{140.940,92 \text{ kg} + 4500 \text{ kg}}{1000} = 145,44 \text{ ton}$



Gambar 4.85 Penampang Puer Akibat Beban Sementara

Tabel 4.18 Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X <sup>2</sup> (m)
X1	0	0
X2	0	0
$\sum X^2$	-	0
	Y (m)	Y <sup>2</sup> (m)
Y1	0,6	0,36
Y2	0,6	0,36
$\sum Y^2$	-	0,72

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

Karena nilai x (jarak tiang pancang ke sumbu x) tidak ada ( $x = 0$ ), maka pengaruh akibat momen Y tidak diperhitungkan, sehingga :

$$P_1 = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2}$$

$$P_1 = \frac{145440,9}{2} \pm \frac{1127,48 \times 0,6}{0,72}$$

$$P_1 = 73973,21 \text{ kg}$$

$$P_2 = 71467,704 \text{ kg}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah  $P_1 = 73973,21 \text{ kg}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) Pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.



$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= P_1 \leq \eta \times P_{\text{ijin tanah}} \\
 P_{\max} &= 73973,21 \text{ kg} \leq 0,88 \times 102,7 \text{ kg} \\
 P_{\max} &= 73973,21 \text{ kg} \leq 90376 \text{ kg} \rightarrow \text{memenuhi}
 \end{aligned}$$

Karena tidak ada eksentrisitas pada tiang pancang terhadap sumbu Y, maka pengaruh akibat momen Y dipikul oleh tahanan momen tiang pancang itu sendiri sesuai spesifikasi tiang pancang tipe-C milik Wika Beton.

Direncanakan 2 tiang pancang maka :

$$\begin{aligned}
 M_y &= 2305,55 \text{ kgm/2} \\
 &= 1152,775 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Kemampuan tahanan momen tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 M_u &= 18 \text{ Tm} \\
 &= 18000 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$M_n = 1152,7 \text{ kgm} < M_u = 18000 \text{ kgm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

#### 4.9.2 Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban sementara lebih besar daripada P beban tetap.

##### ⇒ Data Perencanaan

- Dimensi poer = 1,5m x 2,5m x 0,5m
- Jumlah tiang pancang = 2 buah
- Dimensi kolom = 45 cm x 45 cm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa
- Diameter tulangan utama = 16 mm

$$\begin{aligned}
 \rightarrow \text{Selimut beton (p)} &= 75 \text{ mm} \\
 \rightarrow h &= 500 \text{ mm} \\
 \rightarrow dx &= 500 - 75 - 16 - (1/2 \times 16) = 417 \text{ mm} \\
 \rightarrow dy &= 500 - 75 - (1/2 \times 16) = 401 \text{ mm} \\
 \rightarrow \phi &= 0,80
 \end{aligned}$$

### Penulangan Poer Arah X

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat poer} = 2,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times b_l \\
 &= 3000 \text{ kg/m} \times 0 \text{ m} \\
 &= 0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$P_{\max} = P_2$  beban tiang dari bawah akibat beban sementara (1DL + 1LL + EQY)

$$P = 162305,01 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_q - M_p \\
 &= (q_u \times \frac{1}{2} b_l) - (P \times \text{jarak As.tiang ke tepi kolom}) \\
 &= (0 \times \frac{1}{2} \times 0) - (162305 \times \frac{1}{2} \times 0,275) \\
 &= -22316,93888 \text{ kgm} \\
 &= -223169388,8 \text{ Nmm} \\
 &= 223169388,8 \text{ Nmm (ambil nilai mutlak)}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{223169388,8}{0,8} = 27891735,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{27891735,9}{2500 \times 417^2} = 0,64$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,67$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,67} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,67 \times 0,64}{400}} \right) \\
 &= 0,00162
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

Syarat :  $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$   
 $0,0035 > 0,00162 < 0,0244$  (**tidak memenuhi**)

Maka dipakai  $\rho_{\text{min}} = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0035 \times 2500 \times 417 \\
 &= 3648,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan  $\rightarrow S_{\text{maks}} \leq 2h$   
 $S_{\text{maks}} = 2 \times 500 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$

Maka dipakai tulangan Ø 16

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 2000}{3648,75} \\
 &= 137,81 \text{ mm} \\
 S &= 137,81 \text{ mm} < 1000 \text{ mm (OK)} \\
 S_{\text{pakai}} &= 130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai **Ø 16 – 130**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 2500}{130} = 3094,505 \text{ mm}^2 \\
 \text{Syarat : } A_s \text{ pakai} &> A_{s_{\text{perlu}}} \\
 3868,132 \text{ mm}^2 &> 3648,75 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

### Penulangan Poer Arah Y

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat poer} = 2,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times b_l \\
 &= 3000 \text{ kg/m} \times 1,025 \text{ m} \\
 &= 3075 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max}} &= P_2 \text{ beban tiang dari bawah akibat beban} \\
 &\text{sementara (1DL + 1LL + EQY)} \\
 P &= 162305,01 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_q - M_p \\
 &= (q_u \times \frac{1}{2} b_l) - (P \times \text{jarak As.tiang ke tepi kolom}) \\
 &= (3075 \times \frac{1}{2} \times 1,025) - (162305 \times \frac{1}{2} \times 0,275) \\
 &= -20741,0013 \text{ kgm} \\
 &= -207410013 \text{ Nmm} \\
 &= 207410013 \text{ Nmm (ambil nilai mutlak)}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{207410013}{0,8} = 259262517,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{259262517,2}{2500 \times 401^2} = 0,65$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 0,65}{400}} \right) \\ &= 0,00163 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0325 = 0,024$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 > 0,00163 < 0,024 \rightarrow \text{(tidak memenuhi)}$$

$$\text{Maka dipakai } \rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 2500 \times 401 \\ &= 3508,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat spasi antar tulangan} \rightarrow S_{\text{maks}} \leq 2h$$

$$S_{\text{maks}} = 2 \cdot 500 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan Ø 16

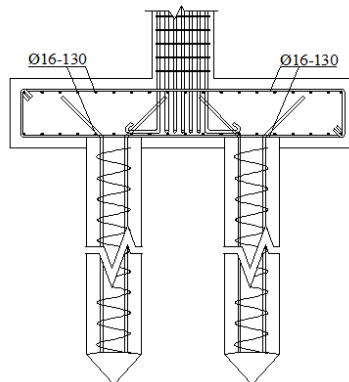
$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 2500}{3508,75} \\
 &= 143,315 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 143,315 \text{ mm} < 1200 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} = 130 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø 16 – 130

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 2500}{130} = 3868,132 \text{ mm}^2 \\
 &= A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}} \\
 3868,132 \text{ mm}^2 &> 3508,75 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$



Gambar 4.86 Hasil Penulangan Pondasi

## **BAB V**

### **HASIL PERHITUNGAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil keseluruhan perhitungan Perencanaan Struktur Gedung Rusunawa (rumah susun sewa) Sidotopo Surabaya dengan metode SRPMM. Diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Tebal Pelat
  - a. Pelat Lantai : 120 mm
  - b. Pelat Atap : 100 mm
2. Dimensi Balok
  - a. Balok induk memanjang : 30 cm x 45 cm
  - b. Balok Induk Melintang : 25 cm x 30 cm
  - c. Balok Anak : 20 cm x 30 cm
  - d. Balok Kantilever memanjang: 25 cm x 30 cm
  - e. Balok kantilever melintang : 20 cm x 30 cm
3. Dimensi Kolom
  - a. Kolom Utama : 45 cm x 45 cm
4. Struktur bangunan bawah terdiri dari 2 jenis pilecap dan menggunakan tiang pancang pra-cetak berdiameter 35 cm.

#### **5.2 Saran**

Dalam perencanaan suatu struktur harus dilakukan studi yang lebih mendalam dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi dan estetika, sehingga diharapkan perencanaan dapat dilaksanakan mendekati sesungguhnya dilapangan.

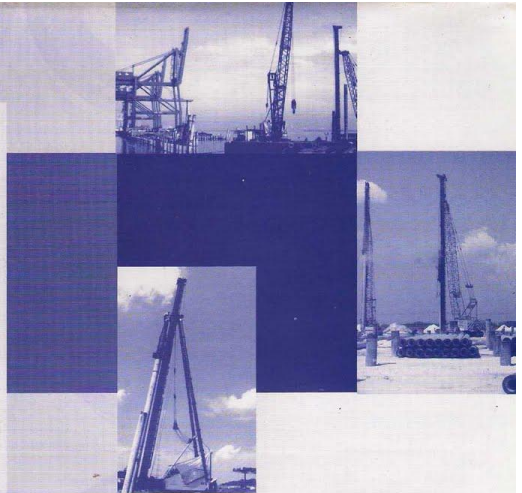
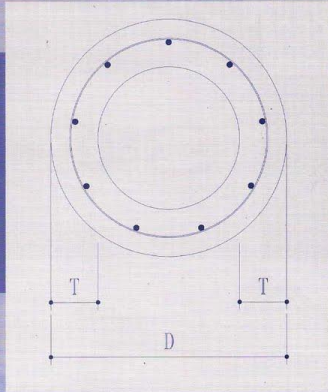
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Badan Standarisasi Nasional, 2002, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gempa (SNI 1726-2002)
2. Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03- 1729-2002)
3. Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version) (SNI 03- 2847-2002)
4. Departemen Pekerjaan Umum, 2002, Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG)
5. Satyarno, I., Nawangalam, P., Indra, R., 2011, Belajar SAP seri 2, Yogyakarta: Zamil Publishing
6. Wang, Chu Kia, Salmon, Charles G., Hariandja, Binsar, 1990, Desain Beton Bertulang Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta: Penerbit Erlangga
7. Setiawan, Agus., Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Jakarta: Penerbit Erlangga
8. Bowles, Joshep E., 1999, Analisa dan Desain Pondasi, Jakarta: Erlangga

## Shape and Dimension



## Classification




Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment Crack (Ton.m)	Bending Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50

DRILLING LOG									
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Project No. : 1	Project : Pengujian Tanah	Type of Drilling : Rotary	Ket :
Bore Hole No. : 1	Lokasi : Akses Jemb. Suramadu Sisi Surabaya	Date : 25-Jan-14	
Water Table : - 2 m	Elevation : $\pm 0,0$ ( muka tanah setempat )	Driller : Ali Masduki	

[illegible]

**Legenda :**

 = Lempung     
  = Pasir     
  = Batu  
 = Lanau     
  = Kerikil     
 = Muka air Tanah

Remarks :

UD = Undisturbed Sample  
SPT = SPT Test

\* = Not Tested

NP = Non Plastics

NS = No Sample/SPT >50

 $\gamma t$  = Unit weight

$W_c$  = Water content

$S_r$  = Degree of Saturation

$e$  = Void Ratio

$G_s$  = Specific Gravity

$LL$  = Liquid limit

$PL$  = Plastic limit

*PI* = Plasticity Index

## **BIODATA PENULIS**

**Rahmat Ridho Darmawan,**



Penulis dilahirkan di Jambi, 07 Juli 1993, merupakan anak ke-2 dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Wijaya Kusuma Pekanbaru, SD Kauman 1 Malang, SMPN 13 Malang, SMAN 3 Malang. Setelah lulus dari SMAN 3 Malang tahun 2011, Penulis mengikuti seleksi tes masuk Program D3 Teknik yang diselenggarakan oleh ITS Surabaya

dan diterima di Jurusan DIII Teknik Sipil FTSP - ITS tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3111.030.008. Di Jurusan DIII Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan organisasi kampus diantaranya HIMA D3 Teknik Sipil sebagai Staff Keprofesian (periode 2012-2013) dan juga aktif dalam berbagai kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa.

## **BIODATA PENULIS**

**Achmad Faiq Adhi Atma,**



Penulis dilahirkan di Surabaya, 12 November 1992, merupakan anak ke-1 (satu) dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Plososari Puri Mojokerto, SDN Plososari Puri Mojokerto, SMPN 1 Gondang Mojokerto, SMAN 1 Gondang Mojokerto. Setelah lulus dari SMAN 1 Gondang Mojokerto, Penulis Mengikuti Tes

Masuk Program Diploma III Teknik yang diselenggarakan oleh ITS Surabaya dan diterima di Jurusan Diploma III Teknik Sipil FTP-ITS tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3111.030.040. Di Jurusan Diploma III Teknik Sipil penulis mengambil Bidang Studi Bangunan Gedung. Penulis pernah aktif dalam Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) yaitu Sebagai Ketua Umum LDJ JMAA (Jama'ah Masjid Al-Azhar), dan juga aktif dalam berbagai kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa.